

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 2月 6日
Date of Application:

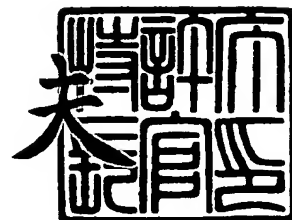
出願番号 特願2003-029655
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP2003-029655]

出願人 セイコーエプソン株式会社
Applicant(s):

2003年12月 5日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井 康



出証番号 出証特2003-3100660

【書類名】 特許願

【整理番号】 EP-0425201

【提出日】 平成15年 2月 6日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 31/10

【発明者】

 【住所又は居所】 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

 【氏名】 金子 剛

【発明者】

 【住所又は居所】 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

 【氏名】 大西 一

【特許出願人】

 【識別番号】 000002369

 【氏名又は名称】 セイコーエプソン株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100090479

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 井上 一

 【電話番号】 03-5397-0891

【選任した代理人】

 【識別番号】 100090387

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 布施 行夫

 【電話番号】 03-5397-0891

【選任した代理人】**【識別番号】** 100090398**【弁理士】****【氏名又は名称】** 大淵 美千栄**【電話番号】** 03-5397-0891**【手数料の表示】****【予納台帳番号】** 039491**【納付金額】** 21,000円**【提出物件の目録】****【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 図面 1**【物件名】** 要約書 1**【包括委任状番号】** 9402500**【プルーフの要否】** 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 受光素子およびその製造方法、光モジュール、光伝達装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 受光面上に設けられた土台部材と、
前記土台部材の上面に設けられた光学部材と、を含む、受光素子。

【請求項 2】 請求項 1 において、
前記土台部材は、所定波長の光を通過させる材質からなる、受光素子。

【請求項 3】 請求項 1 において、
前記光学部材は、レンズとしての機能を有する、受光素子。

【請求項 4】 請求項 1 において、
前記光学部材は、偏向素子としての機能を有する、受光素子。

【請求項 5】 請求項 1 において、
前記光学部材は、円球状または楕円球状である、受光素子。

【請求項 6】 請求項 1 において、
前記光学部材は、切断円球状または切断楕円球状である、受光素子。

【請求項 7】 請求項 1 において、
前記光学部材の断面は、円または楕円である、受光素子。

【請求項 8】 請求項 1 ないし 7 のいずれかにおいて、
前記光学部材の少なくとも一部を覆うように、封止材が形成されている、受光素子。

【請求項 9】 請求項 1 において、
前記土台部材の上面は、円形または楕円形である、受光素子。

【請求項 10】 請求項 1 において、
前記土台部材の上面は、曲面である、受光素子。

【請求項 11】 請求項 1 において、
前記土台部材の上面と、前記土台部材の側壁のうち該上面に接する面とのなす角が鋭角である、受光素子。

【請求項 12】 請求項 1 において、

前記土台部材の上部は、逆テーパ状に形成されている、受光素子。

【請求項 1 3】 請求項 1 ないし 1 2 のいずれかにおいて、
フォトダイオードである、受光素子。

【請求項 1 4】 半導体基板上に設けられた柱状部と、
前記柱状部の上面に設けられた受光面と、
前記受光面上に設けられた土台部材と、
前記土台部材の上面上に設けられた光学部材と、を含む、受光素子。

【請求項 1 5】 半導体基板上に設けられた柱状部と、
前記半導体基板の裏面に設けられた受光面と、
前記受光面上に設けられた土台部材と、
前記土台部材の上面上に設けられた光学部材と、を含む、受光素子。

【請求項 1 6】 請求項 1 4 ないし 1 5 のいずれかにおいて、
前記柱状部は、第 1 導電型層、光吸収層、および第 2 導電型層を含み、
前記光吸収層は、前記第 1 導電型層と前記第 2 導電型層との間に形成されてい
る、受光素子。

【請求項 1 7】 請求項 1 ないし 1 6 のいずれかにおいて、
前記土台部材は、反射防止層としての機能を有する、受光素子。

【請求項 1 8】 請求項 1 ないし 1 7 のいずれかにおいて、
前記土台部材は、半導体層からなる、受光素子。

【請求項 1 9】 請求項 1 ないし 1 8 のいずれかにおいて、
前記土台部材は、絶縁物からなり、
前記絶縁物は、酸化シリコンまたは窒化シリコンである、受光素子。

【請求項 2 0】 請求項 1 ないし 1 9 のいずれかに記載の受光素子と、光導
波路とを含む、光モジュール。

【請求項 2 1】 請求項 2 0 に記載の光モジュールを含む、光伝達装置。

【請求項 2 2】 (a) 受光面上に土台部材を形成し、
(b) 前記土台部材の上面に対して液滴を吐出して、光学部材前駆体を形成し
、
(c) 前記光学部材前駆体を硬化させて、光学部材を形成すること、を含む、

受光素子の製造方法。

【請求項 2 3】 請求項 2 2 において、

前記 (a) において、所定波長の光を通過させる材質にて前記土台部材を形成する、受光素子の製造方法。

【請求項 2 4】 請求項 2 2 または 2 3 において、

前記 (a) において、前記土台部材の上面と、前記土台部材の側壁のうち該上面に接する面とのなす角が鋭角になるように、前記土台部材を形成する、受光素子の製造方法。

【請求項 2 5】 請求項 2 2 ないし 2 4 のいずれかにおいて、

前記 (a) において、前記土台部材の上部を逆テーパ状に形成する、受光素子の製造方法。

【請求項 2 6】 請求項 2 2 ないし 2 5 のいずれかにおいて、

さらに、前記 (b) より前に、(d) 前記液滴に対する前記土台部材の上面の濡れ性を調整すること、を含む、受光素子の製造方法。

【請求項 2 7】 請求項 2 2 ないし 2 6 のいずれかにおいて、

さらに、(e) 前記光学部材の少なくとも一部を封止材で覆うこと、を含む、受光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、受光素子およびその製造方法、ならびに該受光素子を含む光モジュールおよび光伝達装置に関する。

【0 0 0 2】

【背景技術】

受光素子は、光を受光して電気に変換する素子であり、例えば光通信や光演算に用いられている（例えば、特許文献 1 および 2 参照）。これらの用途においては、場合によって、入射光の光学特性、例えば光の放射角や波長等を制御する必要がある。また、近年では、受光素子を光通信等に適用する場合、受光素子にはより高速な動作が求められている。

【 0 0 0 3 】**【特許文献 1】**

特開平 5 - 1 0 2 5 1 3 号公報

【特許文献 2】

特開平 5 - 1 2 0 7 2 2 号公報

【 0 0 0 4 】**【発明が解決しようとする課題】**

本発明の目的は、高速動作が可能であり、かつ、設置位置、形状および大きさが制御された光学部材を含む受光素子およびその製造方法を提供することにある。

【 0 0 0 5 】

また、本発明の目的は、前記受光素子を含む光モジュールおよび光伝達装置を提供することにある。

【 0 0 0 6 】**【課題を解決するための手段】****[第 1 の受光素子]**

本発明の第 1 の受光素子は、
受光面上に設けられた土台部材と、
前記土台部材の上面上に設けられた光学部材と、を含む。

【 0 0 0 7 】

ここで、「光学部材」とは、受光素子の受光面に入射する光の光学特性や進行方向を変化させる機能を有する部材をいう。また、「光学特性」とは、例えば、波長、偏光、放射角等が挙げられる。このような光学部材としては、例えばレンズまたは偏向素子が例示できる。

【 0 0 0 8 】

さらに、「土台部材」とは、前記光学部材を設置できる上面を有する部材をいい、「土台部材の上面」とは、前記光学部材が設置される面をいう。前記土台部材の上面は、前記光学部材を設置できる限り、平面であってもよいし曲面であってもよい。

【0009】

なお、土台部材は前記受光面上に直接設けられていてもよいし、前記受光面上に他の層を介して設けられていてもよい。この場合、他の層としては、例えば、反射防止層が挙げられる。この反射防止層は、前記受光面における光の反射を防止する機能を有する。

【0010】

本発明の第1の受光素子によれば、上記構成を有することにより、高速動作が可能であり、かつ、設置位置、形状および大きさが良好に制御された光学部材を含む受光素子を得ることができる。詳しくは、本実施の形態の欄で説明する。

【0011】

本発明の第1の受光素子は、以下の態様(1)～(14)をとることができる。

【0012】

(1) 前記土台部材は、所定波長の光を通過させる材質からなることができる。ここで、「通過」とは、前記土台部材に入射した光が入射した後、該土台部材から光が出射することをいい、前記土台部材に入射した光がすべて該土台部材から出射する場合だけでなく、前記土台部材に入射した光の一部のみが該土台部材から出射する場合を含む。

【0013】

(2) 前記光学部材は、レンズまたは偏光素子としての機能を有することができる。

【0014】

(3) 前記光学部材は、円球状または楕円球状であることができる。

【0015】

(4) 前記光学部材は、切断円球状または切断楕円球状であることができる。ここで、「切断円球状」とは、円球を一平面で切断して得られる形状をいい、該円球は完全な円球のみならず、円球に近似する形状をも含む。また、「切断楕円球状」とは、楕円球を一平面で切断して得られる形状をいい、楕円球は完全な楕円球のみならず、楕円球に近似する形状をも含む。

【0016】

この場合、前記光学部材の断面は、円または楕円であることができる。また、この場合、前記光学部材に、レンズまたは偏向素子としての機能を付与することができる。

【0017】

(5) 前記柱状部の上面は、円形または楕円形であることができる。

【0018】

(6) 前記光学部材の少なくとも一部を覆うように、封止材を形成することができる。

【0019】

(7) 前記土台部材の上面は、曲面であることができる。

【0020】

(8) 前記土台部材の上面と、前記土台部材の側壁のうち該上面に接する面とのなす角が鋭角であることができる。この構成によれば、液滴を吐出して光学部材前駆体を形成した後硬化させて前記光学部材を形成する場合、前記土台部材の側壁が前記液滴で濡れるのを防止することができる。この結果、所望の形状および大きさを有する光学部材を確実に得ることができる。

【0021】

(9) 前記土台部材の上部は、逆テーパ状に形成されていることができる。ここで、「前記土台部材の上部」とは、前記土台部材のうち前記上面近傍の領域をいう。この構成によれば、液滴を吐出して光学部材前駆体を形成した後硬化させて前記光学部材を形成する場合、前記土台部材の安定性を保持しつつ、前記土台部材の上面と側壁とのなす角をより小さくすることができる。これにより、前記土台部材の側壁が前記液滴で濡れるのを確実に防止することができる。この結果、所望の形状および大きさを有する光学部材を得ることができる。

【0022】

(10) 前記受光素子は、フォトダイオードであることができる。

【0023】

(11) 前記柱状部は、第1導電型層、光吸収層、および第2導電型層を含み

前記光吸収層は、前記第 1 導電型層と前記第 2 導電型層との間に形成できる。

【0 0 2 4】

(1 2) 前記土台部材は、反射防止層としての機能を有することができる。

【0 0 2 5】

(1 3) 前記土台部材は、半導体層からなることができる。

【0 0 2 6】

(1 4) 前記土台部材は、絶縁物からなり、前記絶縁物は、酸化シリコンまたは窒化シリコンであることができる。

【0 0 2 7】

[第 2 の受光素子]

本発明の第 2 の受光素子は、
半導体基板上に設けられた柱状部と、
前記柱状部の上面に設けられた受光面と、
前記受光面上に設けられた土台部材と、
前記土台部材の上面上に設けられた光学部材と、を含む。

【0 0 2 8】

本発明の第 2 の受光素子によれば、第 1 の受光素子と同様の作用および効果を奏することができる。

【0 0 2 9】

[第 3 の受光素子]

本発明の第 3 の受光素子は、
半導体基板上に設けられた柱状部と、
前記半導体基板の裏面に設けられた受光面と、
前記受光面上に設けられた土台部材と、
前記土台部材の上面上に設けられた光学部材と、を含む。

【0 0 3 0】

本発明の第 3 の受光素子によれば、第 1 の受光素子と同様の作用および効果を奏することができる。

【0031】**[受光素子の製造方法]**

本発明の受光素子の製造方法は、

- (a) 受光面上に土台部材を形成し、
- (b) 前記土台部材の上面に対して液滴を吐出して、光学部材前駆体を形成し、
- (c) 前記光学部材前駆体を硬化させて、光学部材を形成すること、を含む。

【0032】

本発明の受光素子の製造方法によれば、前記 (a) において、上面の形状や高さおよび設置位置等が調整された前記土台部材を形成し、前記 (b) において、前記液滴の吐出量を調整すること等によって、高速動作が可能であり、かつ、設置位置、形状および大きさが良好に制御された光学部材を含む受光素子を形成することができる。詳しくは、本実施の形態の欄で説明する。

【0033】

本発明の受光素子の製造方法は、以下の態様 (1) ~ (5) をとることができる。

【0034】

(1) 前記 (a) において、所定波長の光を通過させる材質にて前記土台部材を形成することができる。ここで、「通過」とは、前記土台部材に入射した光が入射した後、該土台部材から光が出射することをいい、前記土台部材に入射した光がすべて該土台部材から出射する場合だけでなく、前記土台部材に入射した光の一部のみが該土台部材から出射する場合を含む。

【0035】

(2) 前記 (a) において、前記土台部材の上面と、前記土台部材の側壁のうち該上面に接する面とのなす角が鋭角になるように、前記土台部材を形成することができる。これにより、前記 (b) において、前記土台部材の側壁が前記液滴で濡れるのを防止することができる。この結果、所望の形状および大きさを有する光学部材を確実に形成することができる。

【0036】

(3) 前記 (a) において、前記土台部材の上部を逆テーパ状に形成することができる。これにより、前記土台部材の安定性を保持しつつ、前記土台部材の上面と側壁とのなす角をより小さくすることができる。これにより、前記 (b) において、前記土台部材の側壁が前記液滴で濡れるのを確実に防止することができる。この結果、所望の形状および大きさを有する光学部材をより確実に形成することができる。

【0037】

(4) さらに、前記 (b) より前に、(d) 前記液滴に対する前記土台部材の上面の濡れ性を調整すること、を含むことができる。これにより、所望の形状および大きさを有する光学部材を形成することができる。ここで、例えば、前記土台部材の上面に、前記液滴に対して親液性または撥液性を有する膜を形成することにより、濡前記液滴に対する前記土台部材の上面の濡れ性を制御することができる。

【0038】

(5) さらに、(e) 前記光学部材の少なくとも一部を封止材で覆うことができる。

【0039】

[光モジュールおよび光伝達装置]

本発明の受光素子と、光導波路とを含む光モジュールに適用することができる。また、前記光モジュールを含む光伝達装置に適用することができる。

【0040】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の好適な実施の形態について、図面を参照しながら説明する。

【0041】

[第1の実施の形態]

1. 受光素子の構造

図1は、本発明を適用した第1の実施の形態に係る受光素子100を模式的に示す断面図である。図2は、本発明を適用した第1の実施の形態に係る受光素子100を模式的に示す平面図である。図1は、図2のA-A線における断面を示

す図である。なお、本実施の形態においては、受光素子100がフォトダイオードである場合について説明する。

【0042】

図1に示すように、受光素子100は、受光面108と、受光面108上に設けられた土台部材110と、この土台部材110の上面110a上に設けられた光学部材111とを含む。

【0043】

本実施の形態の受光素子100では、この受光面108から光が入射する。受光面108は、半導体基板101上に形成された柱状部130の上面130aに設けられている。すなわち、柱状部130の上面130aは受光面108を含む。具体的には、柱状部130の上面130aには、第1電極107（後述する）で覆われていない部分（開口部114）が設けられている。この開口部114内に受光面108が設けられている。

【0044】

また、本実施の形態においては、光学部材111がレンズとして機能する場合について説明する。すなわち、図1および図2に示すように、光学部材111によって集光された光は、土台部材110を経て、受光面108に入射する。

【0045】

（土台部材）

本実施の形態においては、土台部材110は、所定波長の光を通過させる材質からなることができる。具体的には、土台部材110は、光学部材111によって集光された光を通過させることができる材質からなることができる。例えば、土台部材110は、ポリイミド系樹脂、アクリル系樹脂、エポキシ系樹脂、あるいはフッ素系樹脂から形成することができる。あるいは、後述する第4実施形態に係る受光素子400（図15参照）のように、土台部材を半導体層で形成することもできる。

【0046】

また、本実施の形態においては、図1に示すように、土台部材110と反射防止層105とが別々の層からなる場合について示したが、この反射防止層105

を別途設けるかわりに、土台部材 110 が反射防止層としての機能を有していてもよい。この場合、土台部材 110 は、入射光の反射率の低減効果を得ることができ、かつ入射光を通過させる材質からなる。この場合、具体的には、土台部材 110 は、例えば酸化シリコンまたは窒化シリコンなどの絶縁物からなることができる。

【0047】

また、土台部材 110 の立体形状は特に限定されるわけではないが、少なくともその上面上に光学部材を設置させることができる構造であることが必要とされる。この点は、後述する実施形態の受光素子の土台部材においても同様である。

【0048】

また、土台部材 110 の高さおよび形状は、土台部材 110 の上面 110a 上に形成される光学部材 111 の機能および用途、ならびに形状および大きさによって定められる。したがって、土台部材 110 の上面 110a の形状を制御することによって、光学部材 111 の形状を制御することができる。

【0049】

例えば、受光素子 100（図 1 および図 2 参照）では、土台部材 110 の上面 110a の形状は円である。また、後述する実施形態に係る受光素子においても、土台部材の上面の形状が円である場合を示す。

【0050】

光学部材を、例えばレンズまたは偏向素子として用いる場合、土台部材の上面の形状を円にする。これにより、光学部材の立体形状を、円球状または切断円球状に形成することができ、得られた光学部材をレンズまたは偏向素子として用いることができる。

【0051】

また、図示しないが、光学部材を例えば異方性レンズまたは偏向素子として用いる場合、土台部材の上面の形状を楕円にすることができる。これにより、光学部材の立体形状を、楕円球状または切断楕円球状に形成することができ、得られた光学部材を異方性レンズまたは偏向素子として用いることができる。

【0052】

(光学部材)

光学部材 111 の立体形状については、(土台部材) の欄で説明したので、詳しい説明は省略する。

【0053】

光学部材 111 は、例えば熱または光等のエネルギーを付加することによって硬化可能な液体材料 (例えば紫外線硬化型樹脂や熱硬化型樹脂の前駆体) を硬化させることにより形成される。紫外線硬化型樹脂としては、例えば紫外線硬化型のアクリル系樹脂およびエポキシ系樹脂が挙げられる。また、熱硬化型樹脂としては、熱硬化型のポリイミド系樹脂等が例示できる。

【0054】

紫外線硬化型樹脂の前駆体は、短時間の紫外線照射によって硬化する。このため、熱工程など素子に対するダメージを与えやすい工程を経ずに硬化させることができる。このため、紫外線硬化型樹脂の前駆体を用いて光学部材 111 を形成する場合、素子へ与える影響を少なくすることができる。

【0055】

本実施の形態において、光学部材 111 は、具体的には、土台部材 110 の上面 110a に対して液体材料からなる液滴 111a を吐出して、光学部材前駆体 111b を形成した後、光学部材前駆体 111b を硬化させることによって形成される (図 9 および図 10 参照)。光学部材 111 の形成方法については後述する。

【0056】

また、図 1 においては、光学部材 111 の最大切断面 S の最大幅 d が、土台部材 110 の直径より大きい場合を示している。これにより、光学部材 111 の曲面 (光学部材 111 の表面) の上部と受光面 108 との距離を大きくすることができるため、光学部材 111 のレンズ効果を高めることができる。なお、光学部材 111 の形状および大きさは、図 1 に示すものに限定されるわけではなく、光学部材 111 の最大切断面 S の最大幅 d が、土台部材 110 の直径と同じか、または土台部材 110 の直径より小さくすることもできる。このことは、後述する他の実施形態における光学部材についても同様に適用される。

【0057】

なお、ここで、「最大切断面 S」とは、受光面 108 と平行な面で光学部材 111 を切断して得られる切断面のうち、面積が最大である切断面をいう。また、「最大切断面 S の最大幅 d」とは、前記最大切断面 S における最大の幅をいい、例えば最大切断面 S が円形である場合、この最大切断面 S を構成する円の直径をいい、例えば最大切断面 S が楕円形である場合、この最大切断面 S を構成する楕円の長軸をいう。

【0058】

(その他の構成要素)

前述したように、受光素子 100 は、半導体基板 101 と、半導体基板 101 上に形成された柱状部 130 とを含む。半導体基板 101 は、n 型 GaAs 基板からなる。

【0059】

柱状部 130 は、半導体基板 101 上に形成された柱状の半導体堆積体である。具体的には、柱状部 130 は、受光素子 100 の受光面 108 側から基板 101 の途中にかけての部分が、受光面 108 側からから見て円形の形状にエッチングされることにより形成される。なお、本実施の形態では、柱状部 130 の平面形状を円形としたが、この形状は任意の形状をとることが可能である。

【0060】

柱状部 130 は、第 1 導電型層 102、光吸収層 103、および第 2 導電型層 104 を含む。本実施の形態の受光素子 100 においては、第 2 導電型層 104 の上面に受光面 108 が設けられている。したがって、受光面 108 から第 2 導電型層 104 に入射した光は、第 2 導電型層 104 内を伝搬した後、光吸収層 103 に入射する。この場合、例えば、n 型 GaAs 層からなる第 1 導電型層 102、不純物が導入されていない GaAs 層からなる光吸収層 103、および p 型 GaAs 層からなる第 2 導電型層 104 が、n 型 GaAs 層からなる基板 101 上に順に積層することにより、柱状部 130 が形成されている。この場合、例えば、第 1 導電型層 102 の膜厚を $0.5\mu\text{m}$ 、光吸収層 103 の膜厚を $3.5\mu\text{m}$ 、第 2 導電型層 104 の膜厚を $0.1\mu\text{m}$ に形成することができる。なお、第

1 導電型層 102、光吸収層 103、および第 2 導電型層 104 を構成する各層の組成および膜厚はこれに限定されるわけではない。

【0061】

第 2 導電型層 104 は、例えば C がドーピングされることにより p 型にされ、第 1 導電型層 102 は、例えば Si がドーピングされることにより n 型にされている。したがって、第 2 導電型層 104、不純物がドーピングされていない光吸収層 103、および第 1 導電型層 102 により、pin ダイオードが形成される。

【0062】

第 2 導電型層 104 は、電極（後述する第 1 電極 107）とのオーミック接触をとることができる程度のキャリア密度を有する。

【0063】

さらに、柱状部 130 は絶縁層 106 で埋め込まれている。すなわち、柱状部 130 の側壁 130b は絶縁層 106 で取り囲まれている。本実施の形態に係る受光素子 100 においては、この絶縁層 106 は、柱状部 130 の側壁 130b ならびに基板 101 の上面を覆っている。

【0064】

この受光素子 100 の製造工程では、柱状部 130 の側壁 130b を覆う絶縁層 106 を形成した後、柱状部 130 の上面 130a および絶縁層 106 の上面に第 1 電極 107 を、半導体基板 101 の裏面（半導体基板 101 において柱状部 130 の設置面と反対側の面）に第 2 電極 109 を、それぞれ形成する。これらの電極形成の際には一般的に、アニール処理を約 400℃で行なう（後述する製造プロセスを参照）。したがって、樹脂を用いて絶縁層 106 を形成する場合、このアニール処理工程に耐え得るためには、絶縁層 106 を構成する樹脂は耐熱性に優れたものであることが必要とされる。この要求を満たすためには、絶縁層 106 を構成する樹脂がポリイミド樹脂、フッ素系樹脂、アクリル樹脂、またはエポキシ樹脂等であることが望ましく、特に、加工の容易性や絶縁性の観点から、ポリイミド樹脂またはフッ素系樹脂であるのが望ましい。また、絶縁層 106 の上に、樹脂を原材料として光学部材（例えばレンズ）を形成する場合、レン

ズ材（樹脂）との接触角が大きく、レンズ形状を制御しやすいという観点からも、絶縁層 106 はポリイミド樹脂またはフッ素系樹脂からなるのが望ましい。この場合、絶縁層 106 は、熱または光等のエネルギー照射により硬化、あるいは化学反応によって樹脂前駆体を硬化させることにより形成される。

【0065】

第 1 電極 107 は、例えば Au と Zn の合金と Au との積層膜からなる。

【0066】

さらに、半導体基板 101 の裏面 101b には、第 2 電極 109 が形成されている。すなわち、この受光素子 100 では、柱状部 130 の上面 130a で第 1 電極 107 と接合し、かつ、半導体基板 101 の裏面 101b で第 2 電極 109 と接合している。第 2 電極 109 は、例えば Au と Ge の合金と Au との積層膜からなる。

【0067】

第 1 および第 2 電極 107, 109 を形成するための材料は、前述したものに限定されるわけではなく、例えば Ti や Pt などの金属やこれらの合金などが利用可能である。

【0068】

また、図 1 に示すように、必要に応じて、受光面 108 上には反射防止層 105 を設置することができる。すなわち、本実施の形態の受光素子 100 では、土台部材 110 が、受光面 108 上に反射防止層 105 を介して設置されている。これにより、受光面 108 に入射する光の反射を少なくすることができるため、受光面 108 に入射する光の注入効率を高めることができる。

【0069】

反射防止層 105 の光学的膜厚は、 $(2m-1)\lambda/4$ (λ は受光面 108 に入射する光（入射光）の波長、 m は自然数）である。ここで、「光学的膜厚」とは、層の実際の膜厚に屈折率 n を乗じて得られる値をいう。例えば、入射光の波長が λ であって、光学的膜厚が $\lambda/4$ 、屈折率 n が 2.0 である層の場合、この層の実際の膜厚は、光学的膜厚／屈折率 n と等しいことから、 $\lambda/4/2=0.125\lambda$ である。なお、本願において、単に「膜厚」というときは、層の実際の

膜厚をいうものとする。

【0070】

反射防止層 105 の材質は特に限定されるわけではないが、入射光の反射率の低減効果を得ることができ、かつ入射光を通過させる材質からなる。例えば、反射防止層 105 は、酸化シリコンまたは窒化シリコンからなることができる。

【0071】

また、この受光素子 100 において、必要に応じて、第 1 導電型層 102 と光吸収層 103 との間に反射層（図示せず）を形成することができる。この反射層が形成されることにより、光吸収層 103 を通過した光を再度光吸収層 103 へと導入することができる。これにより、光の利用効率を高めることができる。特に、光吸収層 103 の膜厚を小さくした場合、入射光の一部が光吸収層 103 を通過してしまい、光吸収層 103 における光の利用効率が低下してしまう。この場合、前記反射層を形成することによって、光の利用効率を高めることができる点で有効である。

【0072】

2. 受光素子の動作

本実施の形態の受光素子 100 の一般的な動作を以下に示す。ここでは、第 1 導電型が n 型であり、第 2 導電型が p 型である場合を示す。なお、下記の受光素子の駆動方法は一例であり、本発明の趣旨を逸脱しない限り、種々の変更が可能である。

【0073】

まず、光学部材 111 に所定波長の光が入射する。入射した光は、光学部材 111 によって集光された後、土台部材 110 に入射し、この土台部材 110 内を伝搬した後、受光面 108 へと入射する。受光面 108 から入射した光によって、柱状部 130 を構成する各層（半導体層）において、光励起が生じ、電子および正孔が生じる。ここで、光吸収層 103 において、第 1 導電型層 102 との界面近傍に電子が、第 2 導電型層 104 との界面近傍に正孔がそれぞれ蓄積される。所定量以上の電子および正孔が光吸収層 103 に蓄積されると、電子は第 1 導電型層 102 に、正孔は第 2 導電型層 104 にそれぞれ移動する。その結果、第

1 導電型層 1 0 2 から第 2 導電型層 1 0 4 の方向（図 1 の Z 方向）に電流が流れる。この際、第 1 導電型層 1 0 2 側が高電位となるように、光吸収層 1 0 3 に電界をかけておくと、生成される電子および正孔の分離が容易となり、再結合の確率が低減するため、光電変換効率が向上する。

【 0 0 7 4 】

3. 受光素子の製造方法

次に、本発明を適用した第 1 の実施の形態に係る受光素子 1 0 0 の製造方法の一例について、図 3 ～図 1 0 を用いて説明する。図 3 ～図 1 0 は、図 1 および図 2 に示す本実施の形態の受光素子 1 0 0 の一製造工程を模式的に示す断面図であり、それぞれ図 1 に示す断面に対応している。

【 0 0 7 5 】

(1) まず、n 型 G a A s からなる半導体基板 1 0 1 の表面について、組成を変調させながらエピタキシャル成長させることにより、半導体多層膜 1 5 0 が形成される（図 3 参照）。

【 0 0 7 6 】

半導体多層膜 1 5 0 は、図 3 に示すように、第 1 導電型層 1 0 2 と、光吸収層 1 0 3 と、第 2 導電型層 1 0 4 とが順に堆積されて構成される。また、各層は G a A s により構成され、この際、第 1 導電型層 1 0 2 には S i を導入して n 型とし、第 2 導電型層 1 0 4 には C を導入し p 型とする。また、必要に応じて反射層（図示せず）を所定の位置に成長させる。

【 0 0 7 7 】

エピタキシャル成長を行なう際の温度は、成長方法や原料、半導体基板 1 0 1 の種類、あるいは形成する半導体多層膜 1 5 0 の種類、厚さ、およびキャリア密度によって適宜決定されるが、一般に、4 5 0 ℃～8 0 0 ℃であるのが好ましい。また、エピタキシャル成長を行なう際の所要時間も、温度と同様に適宜決定される。また、エピタキシャル成長させる方法としては、有機金属気相成長（M O V P E : M e t a l - O r g a n i c V a p o r P h a s e E p i t a x y）法や、MBE 法（M o l e c u l a r B e a m E p i t a x y）法、あるいは L P E 法（L i q u i d P h a s e E p i t a x y）を用いることが

できる。

【0078】

続いて、半導体多層膜 150 上に、フォトレジスト（図示しない）を塗布した後、フォトリソグラフィ法により該フォトレジストをパターンニングすることにより、所定のパターンのレジスト層 R100 が形成される（図3 参照）。

【0079】

（2） ついで、レジスト層 R100 をマスクとして、例えばドライエッチング法により、第2 導電型層 104、光吸収層 103、第1 導電型層 102、および半導体基板 101 の一部をエッチングすることにより、柱状の半導体堆積体（柱状部） 130 が形成される（図4 参照）。その後、レジスト層 R100 が除去される。

【0080】

（3） 次いで、柱状部 130 を取り囲む絶縁層 106 が形成される（図5 参照）。なお、ここでは、絶縁層 106 を形成するための材料として、ポリイミド樹脂を用いた場合について説明する。

【0081】

まず、例えばスピンコート法を用いて、樹脂前駆体層（ポリイミド前駆体）を半導体基板 101 上に塗布した後、イミド化させることにより、図5 に示すように、柱状部 130 の周囲に絶縁層 106 が形成される。この絶縁層 106 の形成方法としては、例えば、特願 2001-066299 号公報に記載されている方法を用いることができる。また、樹脂前駆体層の形成方法としては、前述したスピンコート法のほか、ディッピング法、スプレーコート法、インクジェット法等の公知技術を利用することができる。

【0082】

（4） 次に、第1 電極 107 および第2 電極 109、および受光面 108 が形成される（図6 参照）。

【0083】

まず、第1 電極 107 および第2 電極 109 を形成する前に、必要に応じて、プラズマ処理法等を用いて、柱状部 130 の上面 130 a を洗浄する。これによ

り、より安定した特性の素子を形成することができる。つづいて、例えば真空蒸着法により、絶縁層 106 の上面上および柱状部 130 の上面 130a 上に、例えば Au と Zn の合金と Au との積層膜（図示せず）を形成した後、リフトオフ法により、柱状部 130 の上面 130a に、前記積層膜が形成されていない部分（開口部 114）を形成する。これにより、この開口部 114 内の領域が受光面 108 となる。なお、前記工程において、リフトオフ法のかわりに、ドライエッチング法を用いることもできる。

【0084】

また、半導体基板 101 の裏面上に、例えば真空蒸着法により、例えば Au と Ge の合金と Au との積層膜（図示せず）を形成する。次いで、アニール処理する。これにより、オーミックコンタクトを形成する。アニール処理の温度は電極材料に依存する。本実施形態で用いた電極材料の場合は、通常 400℃前後で行なう。以上の工程により、第 1 電極 107 および第 2 電極 109 が形成される（図 6 参照）。

【0085】

次いで、必要に応じて、反射防止層 105 を受光面 108 上に形成する（図 7 参照）。

【0086】

具体的には、例えばプラズマ CVD 法によって、反射防止層 105 を形成するための絶縁層（図示せず）を、所定の膜厚積層する。ここでは、前記絶縁層が窒化シリコンからなる場合について説明するが、前記絶縁層は酸化シリコンであってもよい。次いで、フォトリソグラフィ工程によってレジストパターンニングを行ない、受光面 108 の上のレジストのみを残す。さらに、例えば緩衝フッ酸溶液をエッチャントとして用いて、ウエットエッチングにより、前記絶縁層のうち前記レジストによって覆われていない部分を除去する。なお、ウエットエッチングのかわりに、フッ素系プラズマを用いたドライエッチングを用いることもできる。その後、レジストを除去する。以上の工程により、反射防止層 105 が得られる。

【0087】

(5) 次いで、受光面 108 上に、光学部材 111 (図 1 参照) を設置するための土台部材 110 が形成される (図 7 および図 8 参照)。

【0088】

土台部材 110 の形成は、土台部材 110 の材質や形状ならびに大きさに応じて適切な方法 (例えば選択成長法、ドライエッチング法、ウェットエッチング法、リフトオフ法、転写法等) を選択することができる。本実施の形態においては、ウェットエッチングによるパターンニングにて土台部材 110 を形成する場合について説明する。

【0089】

まず、図 7 に示すように、少なくとも受光面 108 上に、樹脂層 110x を形成する。本実施の形態においては、例えばスピコート法にて、受光面 108 および第 1 電極 107 上全体に樹脂層 110x を形成する場合を示す。

【0090】

ついで、樹脂層 110x 上に、所定のパターンのレジスト層 R200 を形成する。このレジスト層 R200 は、樹脂層 110x をパターンニングして土台部材 110 を形成するために利用される。具体的には、フォトリソグラフィ工程により、レジスト層 R200 をマスクとして、例えばアルカリ性溶液をエッチャントに用いるウェットエッチング法によって、樹脂層 110x をパターンニングする。これにより、図 8 に示すように、受光面 108 上に土台部材 110 が形成される。その後、レジスト層 R200 は除去される。

【0091】

(6) 次いで、柱状部 130 の上面 130a 上に、光学部材 111 が形成される (図 9 および図 10 参照)。本実施の形態においては、光学部材 111 (図 1 参照) が第 1 電極 107 を介して土台部材 110 の上面 110a 上に形成される場合について示す。

【0092】

まず、必要に応じて、土台部材 110 の上面 110a に、光学部材 111 の濡れ角を調整するための処理を施す。この工程によれば、後述する工程において、土台部材 110 の上面 110a 上に液体材料 111a を導入した場合、所望の形

状の光学部材前駆体 111b を得ることができ、その結果、所望の形状の光学部材 111 を得ることができる（図 9 および図 10 参照）。

【0093】

次いで、例えばインクジェット法を用いて、液体材料 111a の液滴を、土台部材 110 の上面 110a に向けて吐出する。インクジェットの吐出方法としては、例えば、(i) 熱により液体（ここではレンズ材）中の気泡の大きさを変化させることで圧力を生じ、液体を吐出する方法、(ii) 圧電素子により生じた圧力によって液体を吐出させる方法とがある。圧力の制御性の観点からは、前記 (ii) の方法が望ましい。

【0094】

インクジェットヘッドのノズルの位置と、液滴の吐出位置とのアライメントは、一般的な半導体集積回路の製造工程における露光工程や検査工程で用いられる公知の画像認識技術を用いて行なわれる。例えば、図 9 に示すように、インクジェットヘッド 120 のノズル 112 の位置と、柱状部 130 の位置とのアライメントを行なう。アライメント後、インクジェットヘッド 120 に印加する電圧を制御した後、液体材料 111a の液滴を吐出する。これにより、図 10 に示すように、土台部材 110 の上面 110a 上に、光学部材前駆体 111b を形成する。

【0095】

この場合、図 9 に示すように、ノズル 112 から吐出された前記液滴が、土台部材 110 の上面 110a に着弾した際に、表面張力によって液体材料 111a が変形して、液体材料 111a が土台部材 110 の上面 110a の中心にくる。これにより、自動的に位置の補正がなされる。

【0096】

また、この場合、光学部材前駆体 111b（図 9 参照）は、土台部材 110 の上面 110a の形状および大きさ、液体材料 111a の吐出量、液体材料 111a の表面張力、ならびに柱状部 130 の上面 130a と液体材料 111a との間の界面張力に応じた形状および大きさとなる。したがって、これらを制御することにより、最終的に得られる光学部材 111（図 1 参照）の形状および大きさを

制御することが可能となり、レンズ設計の自由度が高くなる。

【0097】

以上の工程を行なった後、図10に示すように、エネルギー線（例えば紫外線）113を照射することにより、光学部材前駆体111bを硬化させて、土台部材110の上面110a上に、光学部材111を形成する（図1参照）。ここで、最適な紫外線の波長および照射量は、光学部材前駆体111bの材質に依存する。例えば、アクリル系紫外線硬化樹脂の前駆体を用いて光学部材前駆体111bを形成した場合、波長350nm程度、強度10mWの紫外線を5分間照射することで硬化を行なう。以上の工程により、図1に示すように、本実施の形態の受光素子100が得られる。

【0098】

4. 作用効果

本実施の形態に係る受光素子100は、以下に示す作用および効果を有する。

【0099】

(A) 第1に、土台部材110の上面110a上に光学部材111が形成されていることにより、光吸収層103に導入される単位断面積当たりの光量を増加させることができる。これにより、光吸収層103の膜厚を小さくすることができるため、電子および正孔が電極（第1および第2電極107, 109）まで移動する距離を小さくすることができる。その結果、受光感度を維持しつつ、高速動作が可能となる。

【0100】

また、一般に、光吸収層103は絶縁性が高いため、光吸収層103の断面積が大きいほど、受光素子100の静電容量が増加する。静電容量の増加は、素子の高速化を妨げる要因の一つである。これに対して、本実施の形態の受光素子100によれば、前述したように、光吸収層103に導入される単位断面積当たりの光量を増加させることができるため、光吸収層103の断面積を小さくすることができる。これにより、静電容量を小さくすることができるため、光の利用効率を維持しつつ、より高速動作が可能となる。

【0101】

(B) 第2に、光学部材111が土台部材110の上面110a上に設けられていることにより、受光面108から入射する光の光路長を確保することができる。すなわち、土台部材110の高さを調整することで、受光面108から入射する光（入射光）の光路長を調整することができる。これにより、光学部材111の曲率と、前記入射光の光路長とを独立に制御することができるため、光吸収層103に前記入射光を効率良く導くための光学設計を容易に行なうことができる。

【0102】

(C) 第3に、光学部材111の大きさおよび形状を厳密に制御することができる。光学部材111を形成するためには、前記(6)の工程にて説明したように、光学部材111を形成する工程において、光学部材前駆体111bが、土台部材110の上面110a上に形成される（図9および図10参照）。ここで、土台部材110の側壁110bが、光学部材前駆体110aを構成する液体材料で濡れない限り、光学部材前駆体111bには、土台部材110の上面110aの表面張力は作用せず、前記液体材料の表面張力が主に作用する。したがって、光学部材111を形成するために用いる前記液体材料（液滴111a）の量を制御することにより、光学部材前駆体111bの形状を制御することができる。これにより、形状がより厳密に制御された光学部材111を形成することができる。その結果、所望の形状および大きさを有する光学部材111を得ることができる。

【0103】

(D) 第4に、光学部材111の設置位置を厳密に制御することができる。前述したように、光学部材111は、土台部材110の上面110aに対して、液体材料111aの液滴を吐出して、光学部材前駆体111bを形成した後、光学部材前駆体111bを硬化させることにより形成される（図10参照）。一般に、吐出された液滴の着弾位置を厳密に制御するのは難しい。しかしながら、この方法によれば、特に位置合わせを行なうことなく土台部材110の上面110a上に光学部材111を形成することができる。すなわち、土台部材110の上面110a上に単に液滴111aを吐出することによって、位置合わせを行なうこ

となく光学部材前駆体 111b を形成することができる。言い換えれば、土台部材 110 を形成する際のアライメント精度にて光学部材 111 を形成することができる。これにより、設置位置が制御された光学部材 111 を簡易かつ歩留まり良く形成することができる。

【0104】

特に、インクジェット法を用いて液滴 111a を吐出する場合、液滴 111a をよりの確な位置に吐出することができるため、設置位置がより制御された光学部材 111 を簡易かつ歩留まり良く形成することができる。また、インクジェット法を用いて液滴 111a を吐出することにより、吐出する液滴 111a の量を、ピコリットルオーダーの単位で制御することができるため、微細な構造を正確に作成することができる。

【0105】

(E) 第 5 に、土台部材 110 の上面 110a の形状および面積を設定することによって、光学部材 111 の形状および大きさを設定することができる。特に、土台部材 110 の上面 110a の形状を適宜選択することによって、所定の機能を有する光学部材 111 を形成することができる。また、上面の形状が異なる複数の土台部材を形成し、この土台部材の上面上にそれぞれ光学部材を形成することにより、異なる機能を有する光学部材を同一の基板上に集積化することもできる。

【0106】

5. 変形例

次に、本実施の形態に係る受光素子 100 の一変形例について、図 11 を参照して説明する。図 11 は、本実施の形態に係る受光素子 100 の一変形例（受光素子 190）を模式的に示す断面図である。

【0107】

図 11 に示すように、本変形例に係る受光素子 190 においては、光学部材 111 の少なくとも一部を覆うように、封止材 131 が形成されている。この封止材 131 によって、光学部材 111 の密着強度を高めることができる。これにより、光学部材 111 を、土台部材 110 の上面 110a 上に確実に固定させるこ

とができる。封止材 1 3 1 は、光学部材 1 1 1 よりも屈折率が小さいことが望ましい。封止材 1 3 1 の材質は特に限定されないが、例えば樹脂を用いることができる。

【0 1 0 8】

上記の点以外は、本実施の形態に係る受光素子 1 0 0 と同様の構成を有し、同様の作用効果を有する。

【0 1 0 9】

6. 別の変形例

次いで、本実施の形態に係る受光素子の別の一変形例について、図 1 2 を参照して説明する。図 1 2 は、本実施の形態に係る受光素子 1 0 0 の別の一変形例（受光素子 1 8 0）を模式的に示す断面図である。

【0 1 1 0】

図 1 2 に示すように、本変形例に係る受光素子 1 8 0 においては、土台部材 9 1 0 の上面 9 1 0 a が曲面である。この構成によれば、ほぼ円球状の光学部材 9 1 1 を、土台部材 9 1 0 の上面 9 1 0 a 上に設置することができる。

【0 1 1 1】

なお、上記の点以外は、本実施の形態に係る受光素子 1 0 0 と同様の構成を有し、同様の作用効果を有する。また、後述する他の実施形態の受光素子についても、図 1 2 に示す受光素子 1 8 0 と同様に、土台部材の上面を曲面にすることができる。この場合においても、図 1 2 に示す受光素子 1 8 0 と同様に、ほぼ円球状の光学部材を、土台部材の上面上に設置することができる。

【0 1 1 2】

[第 2 の実施の形態]

1. 受光素子の構造

図 1 3 は、本発明を適用した第 2 の実施の形態に係る受光素子 2 0 0 を模式的に示す断面図である。なお、本実施の形態においては、第 1 の実施の形態と同様に、受光素子としてフォトダイオードを用いた場合について説明する。

【0 1 1 3】

本実施の形態に係る受光素子 2 0 0 は、土台部材 2 1 0 の上部が逆テーパ状で

ある点以外は、第1の実施の形態に係る受光素子100とほぼ同様の構造を有する。このため、第1の実施の形態に係る受光素子100と実質的に同じ構成要素には同一符号を付して、その詳細な説明を省略する。

【0114】

図13に示すように、土台部材210の上面210aと面210bとのなす角 θ を鋭角にすることができる。すなわち、土台部材210においては、前述したように、土台部材210の上部210cが逆テーパ状である。ここで、面210bとは、土台部材210の側壁のうち上面210aに接する面をいう。

【0115】

土台部材210の材質は、第1の実施の形態の土台部材110の材質と同様である。すなわち、土台部材210は、光学部材211から土台部材210へと入射した光を通過させることができる材質からなる。また、光学部材211の構造、材質および機能は、第1の実施の形態の光学部材111の構造、材質および機能と同様である。さらに、光学部材211は、第1の実施の形態の光学部材111と同様の方法によって形成することができる。

【0116】

2. 受光素子の動作

本実施の形態の受光素子200の動作は、第1の実施の形態の受光素子100と基本的に同様であるため、詳しい説明は省略する。

【0117】

3. 受光素子の製造方法

本実施の形態に係る受光素子200の製造方法は、土台部材210の上部を逆テーパ状に形成する以外は、第1の実施形態に係る受光素子100の製造方法と同様である。このため、詳しい説明は省略する。

【0118】

4. 作用効果

本実施の形態に係る受光素子200およびその製造方法は、第1の実施の形態に係る受光素子100およびその製造方法と実質的に同じ作用および効果を有する。さらに、本実施の形態に係る受光素子200およびその製造方法は、以下に

示す作用および効果を有する。

【0119】

光学部材 211 は、土台部材 210 の上面 210a に対して液滴を吐出して、光学部材前駆体（図示せず）を形成した後、該光学部材前駆体を硬化させることにより形成される。この場合、土台部材 210 の上面 210a と面 210b とのなす角 θ が鋭角であることにより、土台部材 210 の上面 210a に対して前記液滴を吐出する際に、土台部材 210 の側壁が前記液滴で濡れるのを確実に防止することができる。この結果、所望の形状および大きさを有する光学部材 211 を確実に形成することができる。

【0120】

[第3の実施の形態]

1. 受光素子の構造

図13は、本発明を適用した第3の実施の形態に係る受光素子 300 を模式的に示す断面図である。なお、本実施の形態においては、第1および第2の実施の形態と同様に、受光素子としてフォトダイオードを用いた場合について説明する。

【0121】

本実施の形態に係る受光素子 300 は、土台部材 310 の上部 310c が逆テーパ状である点で、第2の実施の形態に係る受光素子 200 とほぼ同様の構造を有する。このため、第2の実施の形態に係る受光素子 200 と実質的に同じ構成要素には同一符号を付して、その詳細な説明を省略する。

【0122】

この受光素子 300 では、土台部材 310 の上面 310a と、土台部材 310 の側壁のうち上面 310a に接する面 310b とのなす角 θ が、第2の実施の形態に係る受光素子 200 よりもさらに小さい。

【0123】

前述したように、本実施の形態に係る受光素子 300 においては、土台部材 310 の上部 310c が逆テーパ状である。具体的には、土台部材 310 の上面 310a と、土台部材 310 の側壁のうち上面 310a に接する面 310b とのな

す角 θ は鋭角となる。なお、土台部材 310 の材質は、第 2 の実施の形態に係る土台部材 210 の材質と同様である。すなわち、土台部材 310 は、光学部材 311 から土台部材 310 へと入射した光を通過させることができる材質からなる。また、光学部材 311 の構造、材質および機能は、第 2 の実施の形態の光学部材 211 の構造、材質および機能と同様である。さらに、光学部材 311 は、第 2 の実施の形態の光学部材 211 と同様の方法によって形成することができる。

【0124】

2. 受光素子の動作

本実施の形態の受光素子 300 の動作は、第 1 および第 2 の実施の形態の受光素子 100, 200 と基本的に同様であるため、詳しい説明は省略する。

【0125】

3. 受光素子の製造方法

本実施の形態に係る受光素子 300 の製造方法は、土台部材 310 の上部 310c が逆テーパ状となるように土台部材 310 を形成する点以外は、第 1 の実施形態に係る受光素子 100 の製造方法と同様である。したがって、ここでは、第 1 の実施形態に係る受光素子 100 の製造方法と異なる工程、すなわち土台部材 310 を形成する工程について主に説明する。

【0126】

まず、前述した第 1 の実施の形態に係る受光素子の製造方法のうち、前記 (1) ~ (4) の工程 (図 3 ~ 図 6 参照) と同様の方法にて、受光素子 300 のうち、土台部材 310 および光学素子 311 を除く部分を形成する。次いで、前記 (5) の工程 (図 7 参照) と同様の方法にて、樹脂層 110x を形成した後、この樹脂層 110x 上に、所定のパターンのレジスト層 R200 を形成する。このレジスト層 R200 は、後の工程において、樹脂層 110x をパターンニングして土台部材 310 を形成するために利用される。

【0127】

次に、レジストを変質させない程度の温度 (例えば 130℃) で熱処理を行なう。この熱処理においては樹脂層 110x の上面側から熱を加えることにより、樹脂層 110x のうち基板 101 に近い部分よりも、樹脂層 110x の上面 (レ

ジスト層 R200) に近い部分の硬化の度合いを大きくする。

【0128】

次いで、レジスト層 R200 をマスクとして、樹脂層 110x をウエットエッチングする。この工程において、レジスト層 R200 の直下部分すなわち樹脂層 110x の上部は、他の部分と比較してエッチャントの侵入速度が遅いためエッチングされにくい。また、前記熱処理により、樹脂層 110x のうち上面に近い部分の硬化の度合いが、樹脂層 110x のうち基板 101 に近い部分の硬化の度合いよりも大きくなっているため、樹脂層 110x のうち上面に近い部分は、樹脂層 110x のうち基板 100 に近い部分よりも、ウエットエッチングにおけるエッチングレートが小さい。このため、このウエットエッチング時において、樹脂層 110x のうち上面に近い部分は、樹脂層 110x のうち基板 100 に近い部分と比較してエッチング速度が遅い。このため、樹脂層 110x のうち上面に近い部分は、樹脂層 110x のうち基板 100 に近い部分と比較してより多く残存する。これにより、上部 310c が逆テーパ状に形成された土台部材 310 (図 14 参照) を得ることができる。次いで、レジスト層 R200 を除去する。

【0129】

その後の工程 (光学部材の形成工程) は、第 1 の実施形態に係る製造方法 (第 1 の実施形態の (6) の工程) と同様であるため、詳しい説明は省略する。これにより、受光素子 300 が得られる (図 14 参照)。

【0130】

4. 作用効果

本実施の形態に係る受光素子 300 およびその製造方法は、第 1 の実施の形態に係る受光素子 100 およびその製造方法と実質的に同じ作用および効果を有する。さらに、本実施の形態に係る受光素子 300 およびその製造方法は、以下に示す作用および効果を有する。

【0131】

受光素子 300 によれば、土台部材 310 の上部 310c が逆テーパ状であることにより、土台部材 310 の安定性を保持しつつ、土台部材 310 の上面 310a と面 310b とのなす角 θ をより小さくすることができる。これにより、土

台部材 310 の側壁が液滴で濡れるのをより確実に防止することができる。この結果、所望の形状および大きさを有する光学部材 311 を形成することができる。

【0132】

[第4の実施の形態]

1. 受光素子の構造

図15は、本発明を適用した第4の実施の形態に係る受光素子400を模式的に示す断面図である。なお、本実施の形態においては、第1～第3の実施の形態と同様に、受光素子としてフォトダイオードを用いた場合について説明する。

【0133】

本実施の形態に係る受光素子400は、土台部材410が半導体層からなる点以外は、第1の実施の形態に係る受光素子100とほぼ同様の構造を有する。このため、第1の実施の形態に係る受光素子100と実質的に同じ構成要素には同一符号を付して、その詳細な説明を省略する。

【0134】

前述したように、土台部材410は半導体層からなる。この半導体層は、光学部材111から入射する光を通過させることができる性質を有する。また、この土台部材410は柱状部130と一体化して形成できる。具体的には、土台部材410を構成する層は、柱状部130と同様にエピタキシャル成長により積層することができる。

【0135】

本実施の形態において、柱状部130は第1の実施の形態で説明したように、GaAsを用いて形成されている。この場合、AlGaAs系の材料で土台部材410を形成することができる。例えば、この受光素子400の設計波長帯域にある光が850nmである場合、土台部材410は、Alの組成（モル分率）が5%以上である層から形成することができる。これにより、光学部材111から土台部材410に入射した光が、土台部材410を透過して、受光面108に入射することができる。なお、本願において、「設計波長帯域」とは、光吸収層にて吸収される光の波長帯域のことをいう。

【0136】**2. 受光素子の動作**

本実施の形態の受光素子 400 の動作は、第 1 の実施の形態の受光素子 100 と基本的に同様であるため、詳しい説明は省略する。

【0137】**3. 受光素子の製造方法**

次に、本実施の形態に係る受光素子 400 の製造方法の一例について、図 16 ～図 20 を用いて説明する。図 16 ～図 20 は、図 15 に示す本実施の形態の受光素子 400 の一製造工程を模式的に示す断面図であり、それぞれ図 15 に示す断面に対応している。

【0138】

まず、前述した第 1 の実施の形態に係る受光素子 100 の製造工程のうち前記 (1) の工程 (図 3 参照) と同様の方法にて、半導体多層膜 150 を形成する。この半導体多層膜 150 は、図 3 に示す半導体多層膜 150 と同様の組成および膜厚を有する。

【0139】

次いで、この半導体多層膜 150 上に、半導体層 410x をエピタキシャル成長させる。この半導体層 410x は前述した組成に形成することができる。

【0140】

次いで、図 16 に示すように、半導体層 410x の上に、所定のパターンのレジスト層 R110 を形成する。このレジスト層 R110 は、半導体層 410x をパターニングして土台部材 410 を形成するために利用される。次いで、このレジスト層 R110 をマスクとして、例えばドライエッチングにより、半導体層 410x をパターニングする。これにより、図 17 に示すように、半導体多層膜 150 上に土台部材 410 が形成される。その後、レジスト層 R110 が除去される。

【0141】

次いで、図 18 に示すように、半導体多層膜 150 の上に、所定のパターンのレジスト層 R210 を形成する。このレジスト層 R210 は、半導体多層膜 15

0 をパターンニングして柱状部 130 を形成するために利用される。次いで、このレジスト層 R210 をマスクとして、例えばドライエッチングにより、半導体多層膜 150 をパターンニングする。これにより、図 19 に示すように、柱状部 130 が形成される。その後、レジスト層 R210 が除去される。

【0142】

次いで、前述した第 1 の実施の形態に係る受光素子 100 の製造工程のうち前記（3）および（4）の工程と同様の工程によって、柱状部 130 の周囲に絶縁層 106 を形成した後、第 1 および第 2 電極 107, 109 ならびに受光面 108 を形成する（図 20 参照）。

【0143】

次いで、前述した第 1 の実施の形態に係る受光素子 100 の製造工程のうち前記（6）の工程と同様の工程によって、土台部材 410 上に光学部材 111（図 15 参照）が形成される。以上の工程により、受光素子 400 が形成される。

【0144】

なお、本実施の形態においては、前述したように、最初のエッチングにて土台部材 410 を形成してから、次のエッチングにて柱状部 130 を形成する場合を示したが、このエッチングの順序は適宜変更することができる。すなわち、最初のエッチングにて柱状部 130 を形成してから、次のエッチングにて土台部材 410 を形成してもよい。

【0145】

4. 作用効果

本実施の形態に係る受光素子 400 およびその製造方法は、第 1 の実施の形態に係る受光素子 100 およびその製造方法と実質的に同じ作用および効果を有する。さらに、本実施の形態に係る受光素子 400 およびその製造方法は、以下に示す作用および効果を有する。

【0146】

受光素子 400 によれば、半導体層 410x（図 16 参照）は、エピタキシャル成長により形成される。したがって、半導体層 410x の膜厚を容易に制御することができる。土台部材 410 はこの半導体層 410x から形成されるため、

土台部材 4 1 0 の高さの制御が容易である。

【0 1 4 7】

また、あらかじめ土台部材 4 1 0 を形成してから、絶縁層 1 0 6 の埋め込みや、電極 1 0 7, 1 0 9 の形成を行なうため、土台部材 4 1 0 を形成することによる素子特性への影響を少なくすることができる。

【0 1 4 8】

[第 5 の実施の形態]

1. 受光素子の構造

図 2 1 は、本発明を適用した第 5 の実施の形態に係る受光素子 5 0 0 を模式的に示す断面図である。なお、本実施の形態においては、第 1 ～第 4 の実施の形態と同様に、受光素子としてフォトダイオードを用いた場合について説明する。なお、第 1 の実施の形態に係る受光素子 1 0 0 と実質的に同じ構成要素には同一符号を付して、その詳細な説明を省略する。

【0 1 4 9】

本実施の形態に係る受光素子 5 0 0 は、半導体基板 1 0 1 の裏面 1 0 1 b 側から光が入射する点で、第 1 ～第 4 の実施の形態の受光素子と異なる構造を有する。

【0 1 5 0】

受光素子 5 0 0 では、半導体基板 1 0 1 の裏面 1 0 1 b に設けられた受光面 5 0 8 から光が入射する。また、受光面 5 0 8 上には、反射防止層 5 0 5 を介して土台部材 5 1 0 が設けられ、この土台部材 5 1 0 の上面 5 1 0 a 上には光学部材 5 1 1 が設けられている。受光面 5 0 8 は、第 2 電極 1 0 9 に設けられた開口部 5 1 4 内に設けられている。すなわち、受光素子 5 0 0 において、第 1 および第 2 電極 1 0 7, 1 0 9 の平面形状は、第 1 の実施の形態の受光素子 1 0 0 の電極 1 0 7, 1 0 9 と異なる。なお、この受光素子 5 0 0 の土台部材 5 1 0 および光学部材 5 1 1 はそれぞれ、第 1 の実施の形態の受光素子 1 0 0 の土台部材 1 1 0 および光学部材 1 1 1 と同じ材質からなり、同様の工程にて形成することができる。

【0 1 5 1】

また、反射防止層 505 が、半導体基板 101 の裏面 101b に形成されている点で、反射防止層 105 が柱状部 130 の上面 130a 上に形成されている第 1 の実施の形態の受光素子 100 (図 1 参照) と異なる構成を有する。この反射防止層 505 の材質は、反射防止層 105 (図 1 参照) と同様である。

【0152】

また、この受光素子 500 は、InGaAs 層からなる光吸収層 303 を含む点で、GaAs 層からなる光吸収層 103 を含む第 1 ～第 4 の実施の形態の受光素子と異なる構造を有する。

【0153】

InGaAs 層は、In の組成比を調整することにより、870nm よりも長い波長帯域の光を吸収することが可能となる。したがって、受光素子 500 が InGaAs 層からなる光吸収層 303 を含むことにより、870nm よりも長い波長領域に設計波長帯域を有する受光素子を設計することができる。

【0154】

一方、この受光素子 500 において、半導体基板 101 は n 型 GaAs 基板からなり、第 1 導電型層 102 は n 型 GaAs 層からなる。GaAs 層は、波長が 870nm 以上の光を吸収しない。したがって、受光素子 500 の設計波長帯域内で、870nm より長い波長の光が受光面 508 から入射すると、この光は、半導体基板 101 および第 1 導電型層 102 を通過し、光吸収層 303 にて吸収される。すなわち、前記光は、半導体基板 101 および第 1 導電型層 102 によって吸収されることなく、光吸収層 303 にて吸収されるため、光の利用効率に優れたフォトダイオードを得ることができる。

【0155】

2. 受光素子の動作

本実施の形態の受光素子 500 の動作は、第 1 の実施の形態の受光素子 100 と基本的に同様である。ただし、本実施の形態の受光素子 500 では、受光面 508 が半導体基板 101 の裏面 101b に設置されているため、受光面 508 から入射した光は、土台部材 510、半導体基板 101、および第 1 導電型層 102 を経て、光吸収層 303 に入射し吸収される。この後の動作については、第 1

～第 4 の実施の形態の受光素子と同様であるため、詳しい説明は省略する。

【0 1 5 6】

3. 受光素子の製造方法

次に、本実施の形態に係る受光素子 5 0 0 の製造方法の一例について説明する。

【0 1 5 7】

本実施の形態に係る受光素子 5 0 0 は、途中の製造プロセスまでは、前述の第 1 の実施の形態に係る受光素子 1 0 0 の製造プロセスとほぼ同様の工程によって形成することができる。具体的には、光吸収層 3 0 3 が、InGaAs 層からなる点、第 1 および第 2 電極 1 0 7, 1 0 9 の平面形状が異なる点、半導体基板 1 0 0 の裏面 1 0 1 b に受光面 5 0 8 が形成され、受光面 5 0 8 上に、土台部材 5 1 0 を介して光学部材 5 1 1 が設置されている点を除いて、第 1 の実施の形態の受光素子 1 0 0 の製造プロセスとほぼ同様の工程によって形成される。よって、ここでは、第 1 の実施の形態の受光素子の製造プロセスと異なる点について主に説明する。

【0 1 5 8】

本実施の形態に係る受光素子 5 0 0 の製造プロセスでは、具体的には、第 2 電極 1 0 9 を形成する際に、半導体基板 1 0 1 が露出する領域を設ける。この露出する領域が受光面 5 0 8 となる。

【0 1 5 9】

次に、第 1 の実施の形態の受光素子 1 0 0 の反射防止層 1 0 5 と同様の方法にて、反射防止層 5 0 5 を形成する。

【0 1 6 0】

次いで、受光面 5 0 8 上に、反射防止層 5 0 5 を介して土台部材 5 1 0 を形成し、さらに、土台部材 5 1 0 の上面 5 1 0 a 上に光学部材 5 1 1 を形成する。なお、第 1 および第 2 電極 1 0 7, 1 0 9、土台部材 5 1 0 および光学部材 5 1 1 の形成方法は、第 1 の実施の形態で説明した方法と同様であるため、詳しい説明は省略する。

【0 1 6 1】

4. 作用効果

本実施の形態に係る受光素子 5 0 0 およびその製造方法は、第 1 の実施の形態に係る受光素子 1 0 0 およびその製造方法と実質的に同じ作用および効果を有するため、詳しい説明は省略する。

【0 1 6 2】

[第 6 の実施の形態]

1. 受光素子の構造

図 2 2 は、本発明を適用した第 6 の実施の形態に係る受光素子 6 0 0 を模式的に示す断面図である。なお、本実施の形態においては、第 1 ～ 第 5 の実施の形態と同様に、受光素子としてフォトダイオードを用いた場合について説明する。

【0 1 6 3】

本実施の形態に係る受光素子 6 0 0 は、半導体基板 1 0 1 の裏面 1 0 1 b 側から光が入射する点で、第 5 の実施の形態の受光素子 5 0 0 と同様の構造を有する。

【0 1 6 4】

一方、この受光素子 6 0 0 は、第 1 の実施の形態の受光素子 1 0 0 と同様に、不純物が導入されていない G a A s 層からなる光吸収層 1 0 3 を有する点、半導体基板 1 0 1 の裏面 1 0 1 b に凹部 3 2 1 が設置され、凹部 3 2 1 に光伝搬層 6 3 0 が埋め込まれている点、第 1 電極 1 0 7 および第 2 電極 1 0 9 がいずれも半導体基板 1 0 1 の上方に形成されている点、ならびに光伝搬層 6 3 0 の上面に受光面 6 0 8 が設置されている点で、第 5 の実施の形態の受光素子 5 0 0 と異なる構造を有する。

【0 1 6 5】

この他の構成要素の構造および機能については、第 5 の実施の形態に係る受光素子 5 0 0 とほぼ同様の構造および機能を有する。第 5 の実施の形態に係る受光素子 5 0 0 と実質的に同じ構成要素には同一符号を付して、その詳細な説明を省略する。

【0 1 6 6】

なお、この受光素子 6 0 0 の土台部材 6 1 0 および光学部材 6 1 1 はそれぞれ

、第1の実施の形態の受光素子100の土台部材110および光学部材611と同様の材質からなり、かつ同様の工程にて形成することができる。また、反射防止膜605は、第5の実施の形態の反射防止層505と同様の材質からなり、かつ、同様の工程にて形成することができる。

【0167】

この受光素子600では、半導体基板101の裏面101bに凹部321が設置され、凹部321に光伝搬層630が埋め込まれている。すなわち、図22に示すように、光伝搬層630は、半導体基板101と土台部材610との間に形成されている。この光伝搬層630の幅および膜厚は、凹部321の幅および深さを調整することによって制御することが可能である。

【0168】

また、この光伝搬層630は、受光素子600の設計波長帯域にある所定の波長の光を吸収しない材質で形成することができる。例えば、受光素子600が、波長850nmの光を受光して動作する場合、光伝搬層630を、850nmの波長を吸収帯域に含まない材質で形成する。これにより、波長850nmの光は、受光面608から入射した後、光伝搬層630によって吸収されることなく、光吸収層103へと導入される。

【0169】

この受光素子600は、例えば、受光素子600の設計波長帯域が、基板101の吸収帯域内に含まれる場合において、基板101の裏面101b側から光吸収層103に光を導入したい場合に適用することができる。

【0170】

また、この受光素子600においては、土台部材610は、反射防止層605を介して受光面608上に形成され、この土台部材610の上面610aに光学部材611が形成されている。この受光素子600においては、土台部材610および光伝搬層630の膜厚を調整することによって、光吸収層103へと導入される光の光路長を調整することができる。すなわち、特定の入射光の入射角に対して、光学部材611の曲率と、光吸収層103へと導入される光の光路長を独立に制御することができる。これにより、光吸収層103に光を効率良く導く

ための光学設計を容易に行なうことができる。

【0 1 7 1】

2. 受光素子の動作

本実施の形態の受光素子 6 0 0 の動作は、第 5 の実施の形態の受光素子 5 0 0 と基本的に同様である。また、本実施の形態の受光素子 6 0 0 は、半導体基板 1 0 1 と土台部材 6 1 0 との間に光伝搬層 6 3 0 が形成されているため、受光面 6 0 8 から入射した光は、土台部材 6 1 0、光伝搬層 6 3 0、半導体基板 1 0 1、および第 1 導電型層 1 0 2 を経て、光吸収層 1 0 3 へと導入される。この後の動作については、第 1 ～第 5 の実施の形態の受光素子と同様であるため、詳しい説明は省略する。

【0 1 7 2】

3. 受光素子の製造方法

本実施の形態の受光素子 6 0 0 は、第 1 電極 1 0 7 および第 2 電極 1 0 9 の両方とも半導体基板 1 0 1 の上方に形成する点、半導体基板 1 0 1 の裏面 1 0 1 b に凹部 3 2 1 を形成し、凹部 3 2 1 に光伝搬層 6 3 0 を形成する点を除いて、第 5 の実施の形態に係る受光素子 5 0 0 と同様の製造プロセスにより形成される。よって、詳しい説明は省略する。

【0 1 7 3】

凹部 3 2 1 を形成するには、例えば、ドライエッチング法、ウエットエッチング法およびこれらの組み合わせを用いることができる。また、光伝搬層 6 3 0 の形成は、用いる材料によって異なるが、例えばエネルギーを付加することで硬化可能な樹脂材料を用いる場合は、樹脂前駆体を、スピンコート法やディスペンサ法、インクジェット法等により凹部 3 2 1 に封入した後硬化させる方法を用いることができる。

【0 1 7 4】

4. 作用効果

本実施の形態に係る受光素子 6 0 0 およびその製造方法は、第 1 の実施の形態に係る受光素子 1 0 0 およびその製造方法と実質的に同じ作用および効果を有する。さらに、本実施の形態に係る受光素子 6 0 0 およびその製造方法では、以下

に示す作用および効果を有する。

【0 1 7 5】

本実施の形態に係る受光素子 6 0 0 によれば、半導体基板 1 0 1 と土台部材 6 1 0 との間に光伝搬層 6 3 0 が形成されていることにより、入射光の放射角の制御が可能になる。すなわち、光伝搬層 6 3 0 を形成するための材料を適宜選択することにより、光伝搬層 6 3 0 の屈折率を調整することができる。

【0 1 7 6】

[第 7 の実施の形態]

1. 受光素子の構造

図 2 3 は、本発明を適用した第 7 の実施の形態に係る受光素子 7 0 0 を模式的に示す断面図である。図 2 4 は、図 2 4 の B - B 線における断面を示す図である。なお、本実施の形態においては、第 1 ～ 第 6 の実施の形態と同様に、受光素子としてフォトダイオードを用いた場合について説明する。また、第 1 の実施の形態に係る受光素子 1 0 0 と実質的に同じ構成要素には同一符号を付して、その詳細な説明を省略する。

【0 1 7 7】

本実施の形態の受光素子 7 0 0 は、図 2 3 および図 2 4 に示すように、第 1 および第 2 電極 1 0 7, 1 0 9 がいずれも、半導体基板 1 0 1 の上方に設置されている。

【0 1 7 8】

具体的には、柱状部 1 3 0 の上面 1 3 0 a から絶縁層 1 0 6 の上面にかけて、第 1 電極 1 0 7 が形成されている。また、絶縁層 1 0 6 の一部が除去されて、半導体基板 1 0 1 が露出しており、この露出した半導体基板 1 0 1 の表面に第 2 電極 1 0 9 が形成されている。

【0 1 7 9】

2. 受光素子の動作

本実施の形態の受光素子 7 0 0 の動作は、第 1 の実施の形態の受光素子 1 0 0 と基本的に同様であるため、詳しい説明は省略する。

【0 1 8 0】

3. 受光素子の製造方法

本実施の形態の受光素子 700 は、第 1 電極 107 および第 2 電極 109 を両方とも半導体基板 101 の上方に形成する点、および絶縁層 106 の一部を除去する点を除いて、第 1 の実施の形態に係る受光素子 100 と同様の製造プロセスにより形成される。よって、詳しい説明は省略する。

【0181】

4. 作用効果

本実施の形態に係る受光素子 700 およびその製造方法は、第 1 の実施の形態に係る受光素子 100 およびその製造方法と実質的に同じ作用および効果を有する。このため、詳しい説明は省略する。

【0182】

[第 8 の実施の形態]

図 25 は、本発明を適用した第 8 の実施の形態に係る光伝達装置を模式的に説明する図である。本実施の形態に係る光伝達装置 1100 は、第 1 の形態の受光素子 100 と、発光素子 900 と、発光素子 900 から出射した光を伝搬させ、受光素子 100 へと導入する光導波路とを含む。また、受光素子 100 と、この受光素子 100 へと導入する光を伝搬する光導波路（第 1 の光導波路 1130）とから光モジュールが構成される。

【0183】

本実施の形態では、受光素子 100 側の構成（受光素子 100、プラットフォーム 1120、第 1 の光導波路 1130、第 2 の光導波路 1318、アクチュエータ 1150 を含む。）と、発光素子 900 側の構成（発光素子 900、プラットフォーム 1220、第 3 の光導波路 1230、1310 を含む。）との間に、第 3 の光導波路 1312 が配置されている。第 3 の光導波路 1312 として光ファイバなどを使用して、複数の電子機器間の光伝達を行なうことができる。

【0184】

本実施の形態の光伝達装置 1100 においては、発光素子 900 から光が出射した後、第 3 の光導波路 1312、1310、1230、第 2 の光導波路 1312、および第 1 の光導波路 1130 内を前記光が伝搬した後、受光素子 100 へ

と前記光が導入される。

【0185】

例えば、図26において、光伝達装置1100は、コンピュータ、ディスプレイ、記憶装置、プリンタ等の電子機器1102を相互に接続するものである。電子機器1102は、情報通信機器であってもよい。光伝達装置1100は、光ファイバ等の第3の光導波路1312を含むケーブル1104を有する。光伝達装置1100は、ケーブル1104の両端にプラグ1106が設けられたものであってもよい。それぞれのプラグ1106内に、受光素子100、発光素子900側の構成が設けられる。いずれかの電子機器1102から出力された電気信号は、発光素子によって光信号に変換され、光信号はケーブル1104を伝わり、受光素子によって電気信号に変換される。電気信号は、他の電子機器1102に入力される。こうして、本実施の形態に係る光伝達装置1100によれば、光信号によって、電子機器1102の情報伝達を行なうことができる。

【0186】

図27は、本実施の形態に係る光伝達装置の使用形態を示す図である。光伝達装置1112は、電子機器1110間を接続する。電子機器1110として、液晶表示モニターまたはデジタル対応のCRT（金融、通信販売、医療、教育の分野で使用されることがある。）、液晶プロジェクタ、プラズマディスプレイパネル（PDP）、デジタルTV、小売店のレジ（POS（Point of Sale Scanning）用）、ビデオ、チューナー、ゲーム装置、プリンタ等が挙げられる。

【0187】

なお、本実施の形態（図25～図27参照）において、第1の実施の形態の受光素子100のかわりに、第2～第7の実施の形態の受光素子を用いた場合でも、同様の作用および効果を奏することができる。

【0188】

すなわち、本発明は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。例えば、本発明は、実施の形態で説明した構成と実質的に同一の構成（例えば、機能、方法および結果が同一の構成、あるいは目的および結果が同一の構成）を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成の本質的

でない部分を置き換えた構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成と同一の作用効果を奏する構成または同一の目的を達成することができる構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成に公知技術を付加した構成を含む。

【0 1 8 9】

例えば、上記実施の形態において、各半導体層における p 型と n 型とを入れ替えても本発明の趣旨を逸脱するものではない。また、上記実施の形態では、柱状部を一つ有する受光素子について説明したが、基板面内で柱状部が複数個設けられていても本発明の形態は損なわれない。あるいは、複数の受光素子がアレイ化されている場合でも、同様の作用および効果を有する。

【0 1 9 0】

また、例えば、上記実施の形態では、AlGaAs 系および InGaAs 系のものについて説明したが、光吸収層にて吸収される光の波長に応じてその他の材料系、例えば、Si 系や GaInNAs 系の半導体材料を用いることも可能である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の第 1 の実施の形態の受光素子を模式的に示す断面図である。

【図 2】 本発明の第 1 の実施の形態の受光素子を模式的に示す平面図である。

【図 3】 図 1 および図 2 に示す受光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 4】 図 1 および図 2 に示す受光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 5】 図 1 および図 2 に示す受光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 6】 図 1 および図 2 に示す受光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 7】 図 1 および図 2 に示す受光素子の一製造工程を模式的に示す断面

図である。

【図 8】 図 1 および図 2 に示す受光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 9】 図 1 および図 2 に示す受光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 1 0】 図 1 および図 2 に示す受光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 1 1】 図 1 および図 2 に示す受光素子の一変形例を模式的に示す断面図である。

【図 1 2】 図 1 および図 2 に示す受光素子の別の一変形例を模式的に示す断面図である。

【図 1 3】 本発明の第 2 の実施の形態の受光素子を模式的に示す断面図である。

【図 1 4】 本発明の第 3 の実施の形態の受光素子を模式的に示す断面図である。

【図 1 5】 本発明の第 4 の実施の形態の受光素子を模式的に示す断面図である。

【図 1 6】 図 1 5 に示す受光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 1 7】 図 1 5 に示す受光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 1 8】 図 1 5 に示す受光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 1 9】 図 1 5 に示す受光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 2 0】 図 1 5 に示す受光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 2 1】 本発明の第 5 の実施の形態の受光素子を模式的に示す断面図である。

【図 2 2】 本発明の第 6 の実施の形態の受光素子を模式的に示す断面図である。

【図 2 3】 本発明の第 7 の実施の形態の受光素子を模式的に示す断面図である。

【図 2 4】 本発明の第 7 の実施の形態の受光素子を模式的に示す平面図である。

【図 2 5】 本発明の第 8 の実施の形態に係る光モジュールを模式的に示す図である。

【図 2 6】 本発明の第 8 の実施の形態に係る光伝達装置を示す図である。

【図 2 7】 本発明の第 8 の実施の形態に係る光伝達装置を示す図である。

【符号の説明】

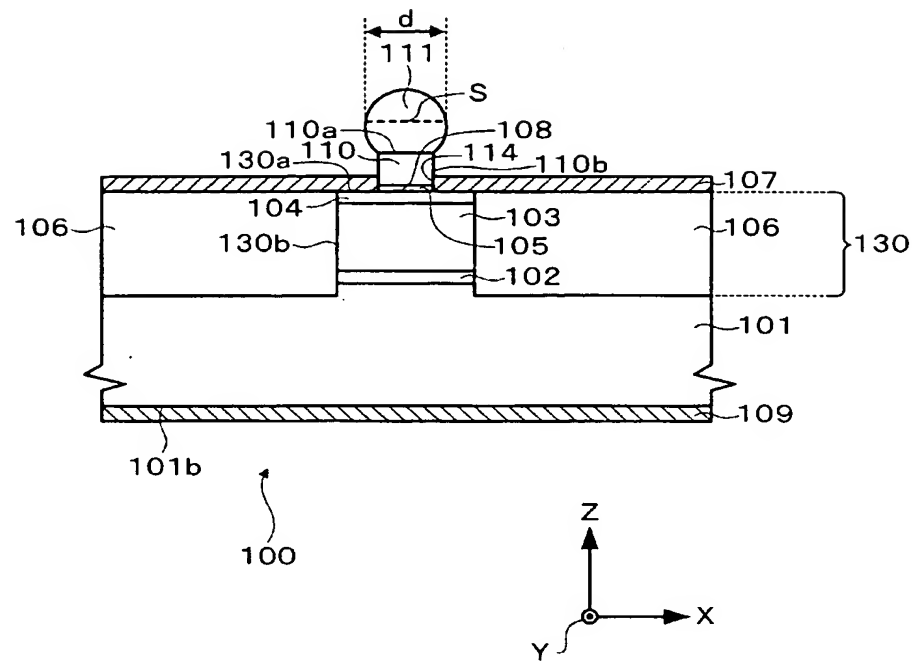
100, 180, 190, 200, 300, 400, 500, 600 受光素子、 101 半導体基板、 101b 半導体基板の裏面、 102 第1導電型層、 103, 303 光吸収層、 104 第2導電型層、 105, 505, 605 反射防止層、 106, 606 絶縁層、 107, 507, 607 第1電極、 108, 508, 608 受光面、 109, 509, 609 第2電極、 110, 210, 310, 410, 510, 610 土台部材、 110a, 210a, 310a, 410a, 510a, 610a, 910a 土台部材の上面、 110b 土台部材の側壁、 110x 樹脂層、 111, 211, 311, 511, 611, 911 光学部材、 111a 液滴、 111b 光学部材前駆体、 112 ノズル、 113 エネルギー線、 114, 514 開口部、 120 インクジェットヘッド、 130 柱状部、 130a 柱状部の上面、 130b 柱状部の側壁、 131 封止材、 150 半導体多層膜、 210b, 310b 面、 210c, 310c 土台部材の上部、 321 凹部、 410x 半導体層、 630 光伝搬層、 900 発光素子、 1100, 1112 光伝達装置、 1110, 1102 電子機器、 1104 ケーブル、 1106 プラグ、 1120, 1220 プラットフォーム、 1130 第1の光導波路、 1150 アクチュエータ、 1152 クッション、 1230, 1310, 1312 第3の

光導波路、 1 3 1 8 第 2 の光導波路、 1 3 1 4, 1 3 1 6 基板、 R 1
0 0, R 1 1 0, R 2 0 0, R 2 1 0 レジスト

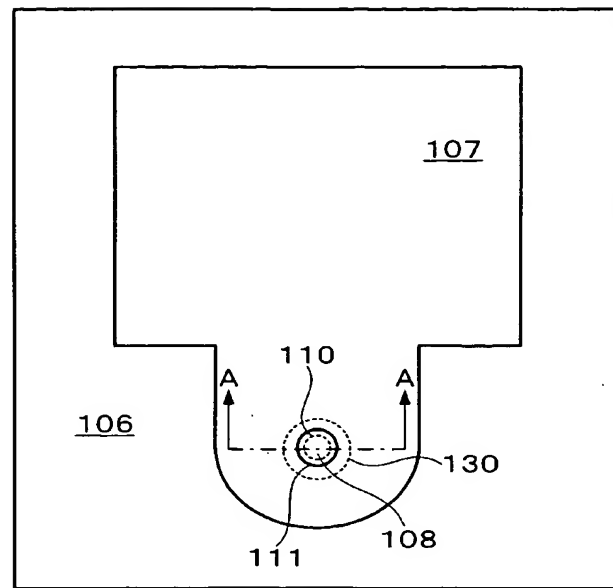
【書類名】

図面

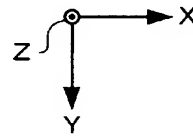
【図 1】



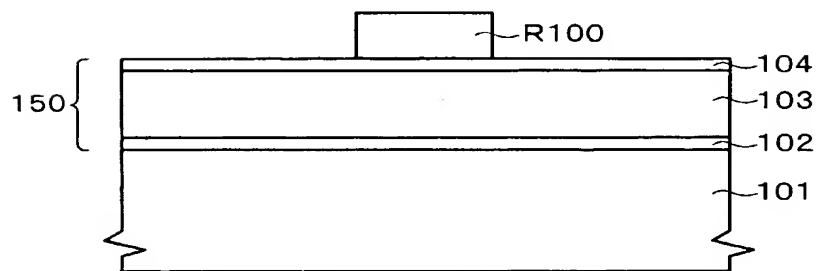
【図 2】



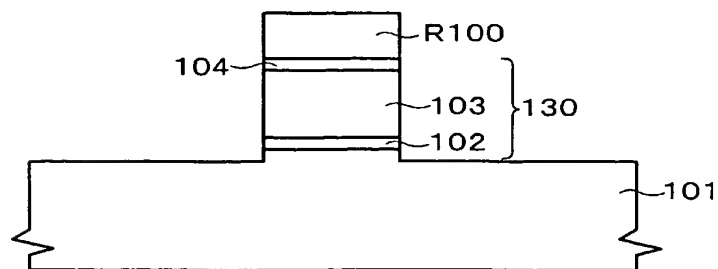
100



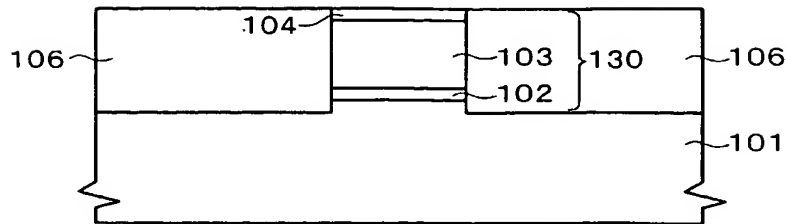
【図 3】



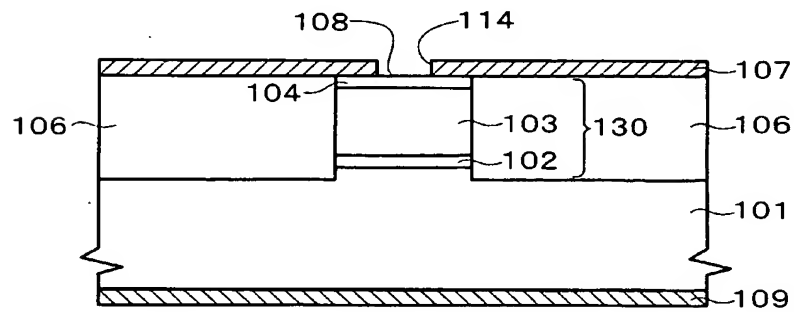
【図 4】



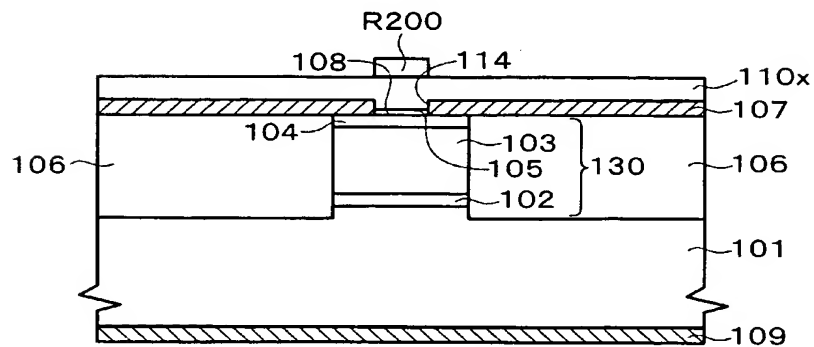
【図 5】



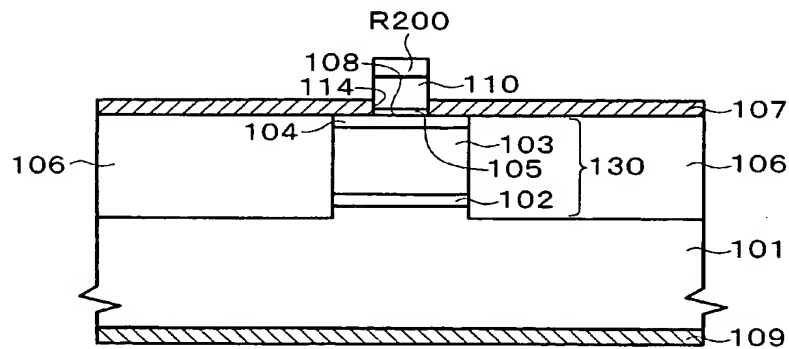
【図 6】



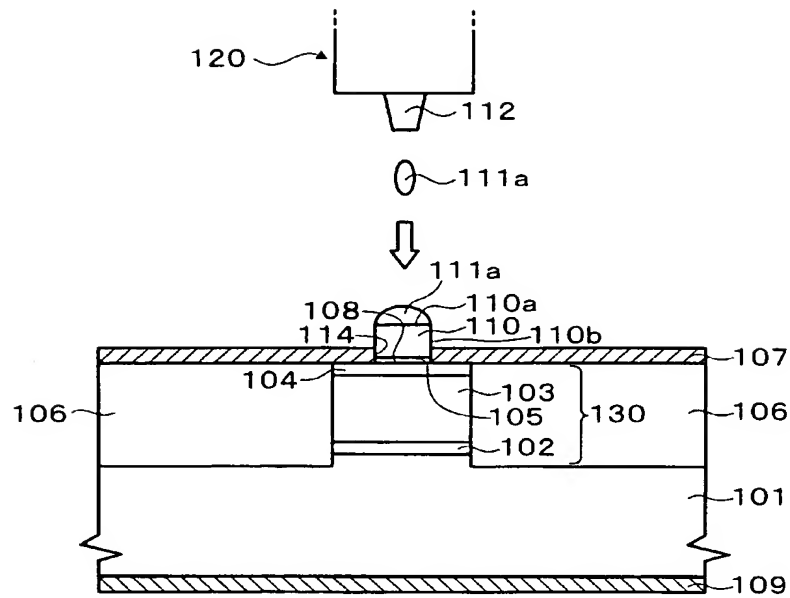
【図 7】



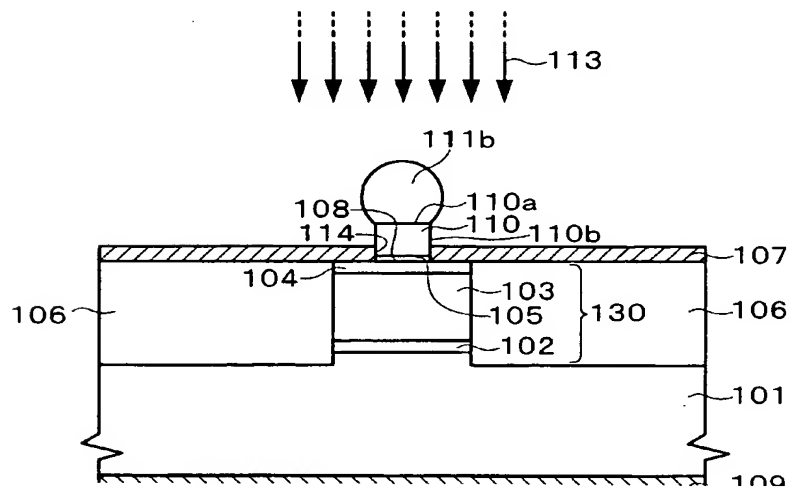
【図 8】



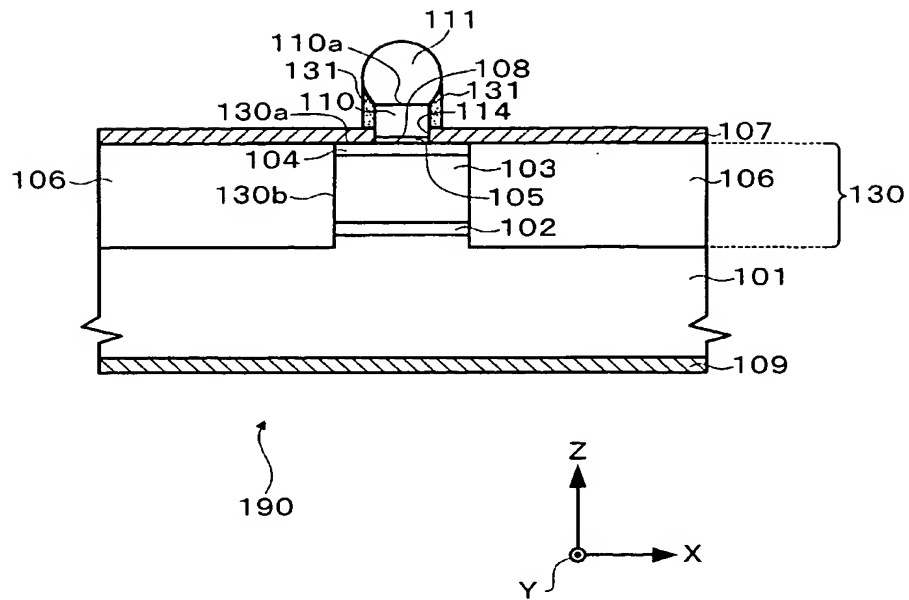
【図 9】



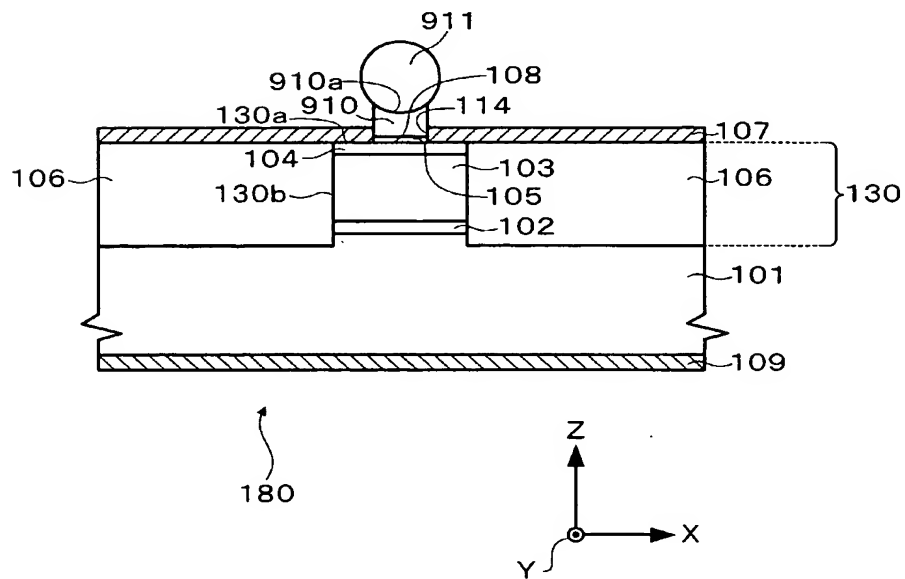
【図 10】



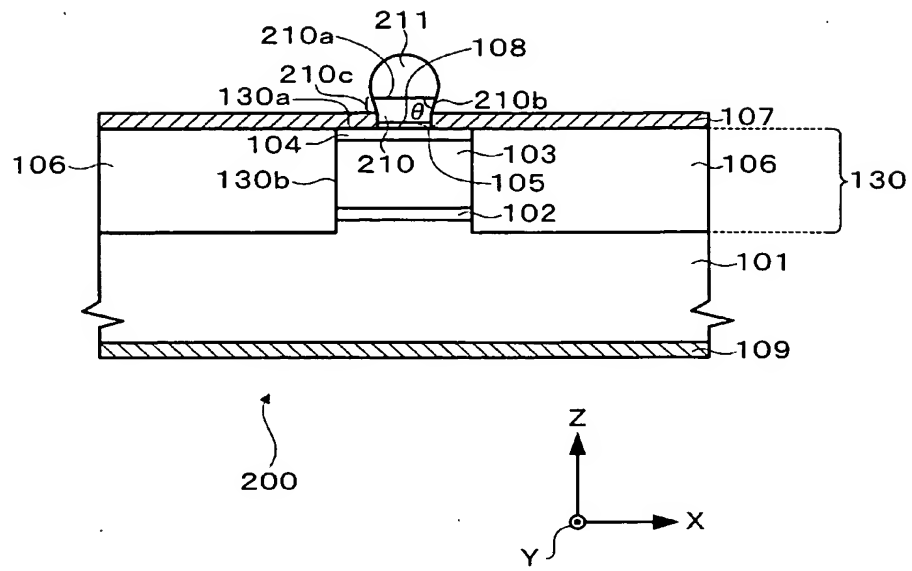
【図 1 1】



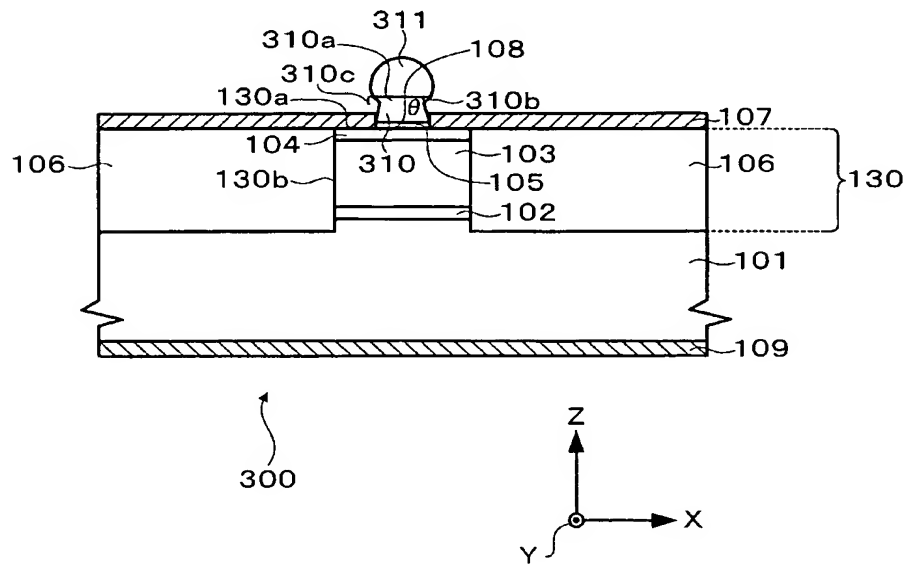
【図 1 2】



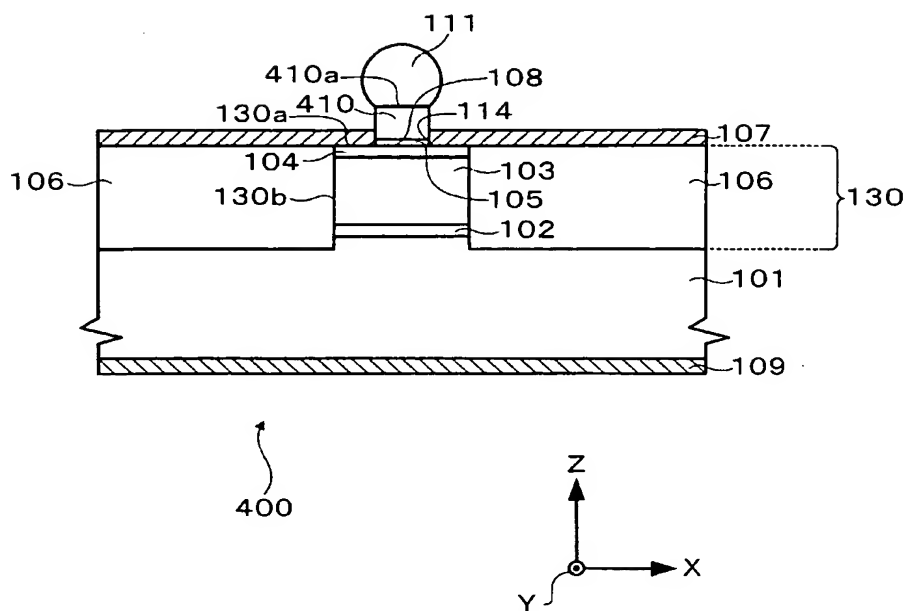
【図 13】



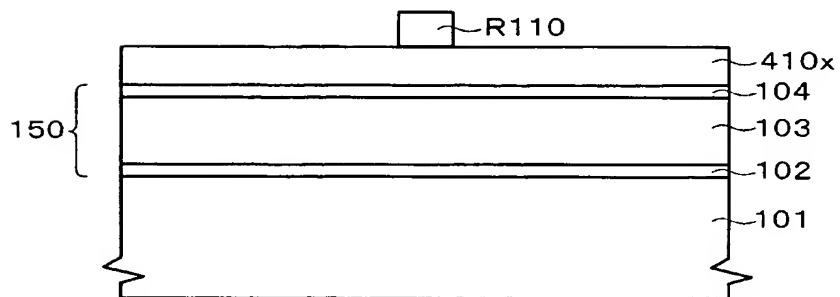
【図 14】



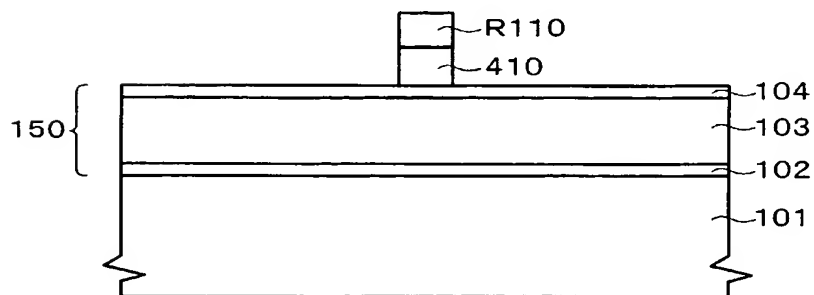
【図 15】



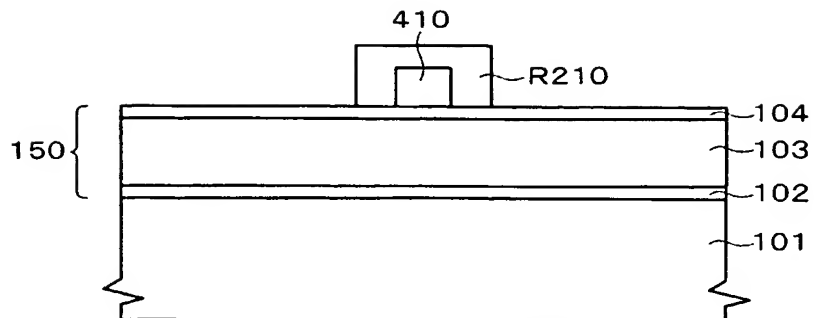
【図 16】



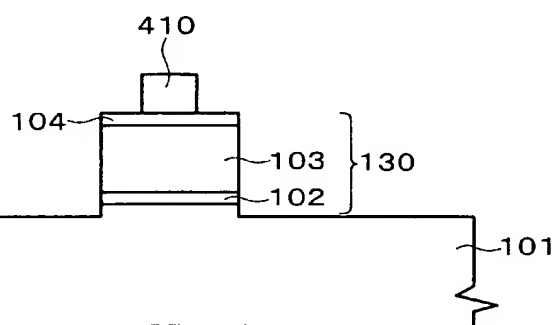
【図 17】



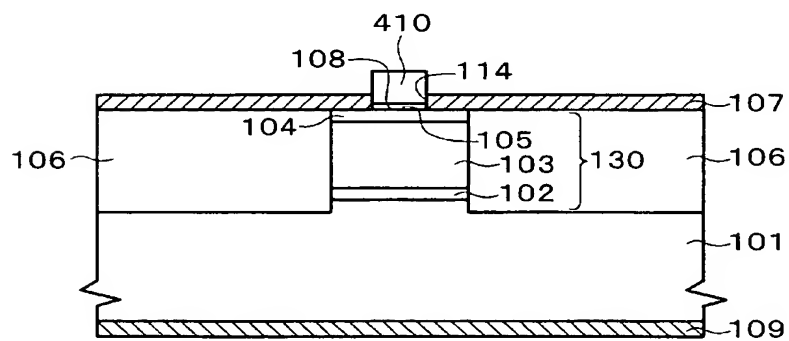
【図 18】



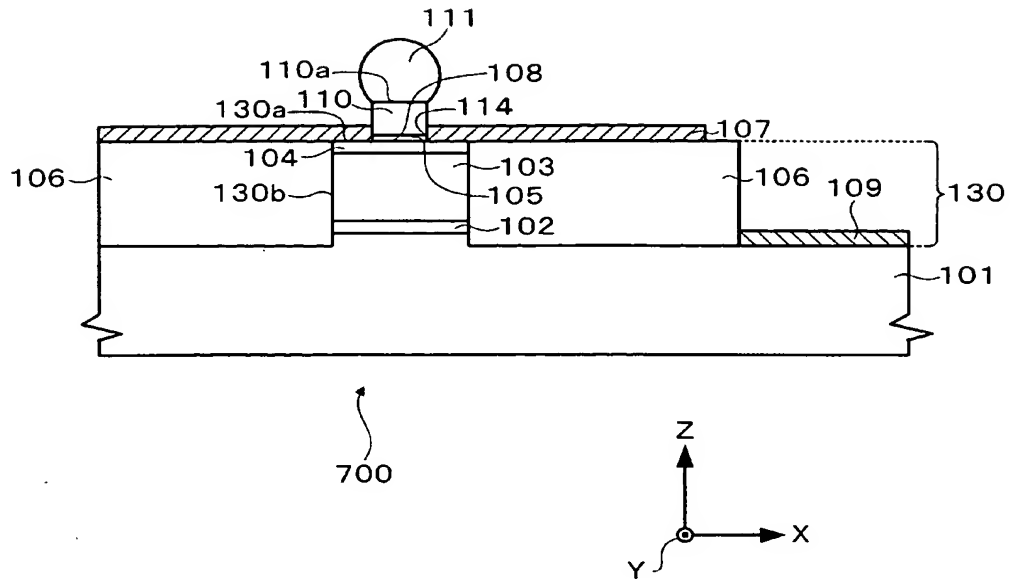
【図 19】



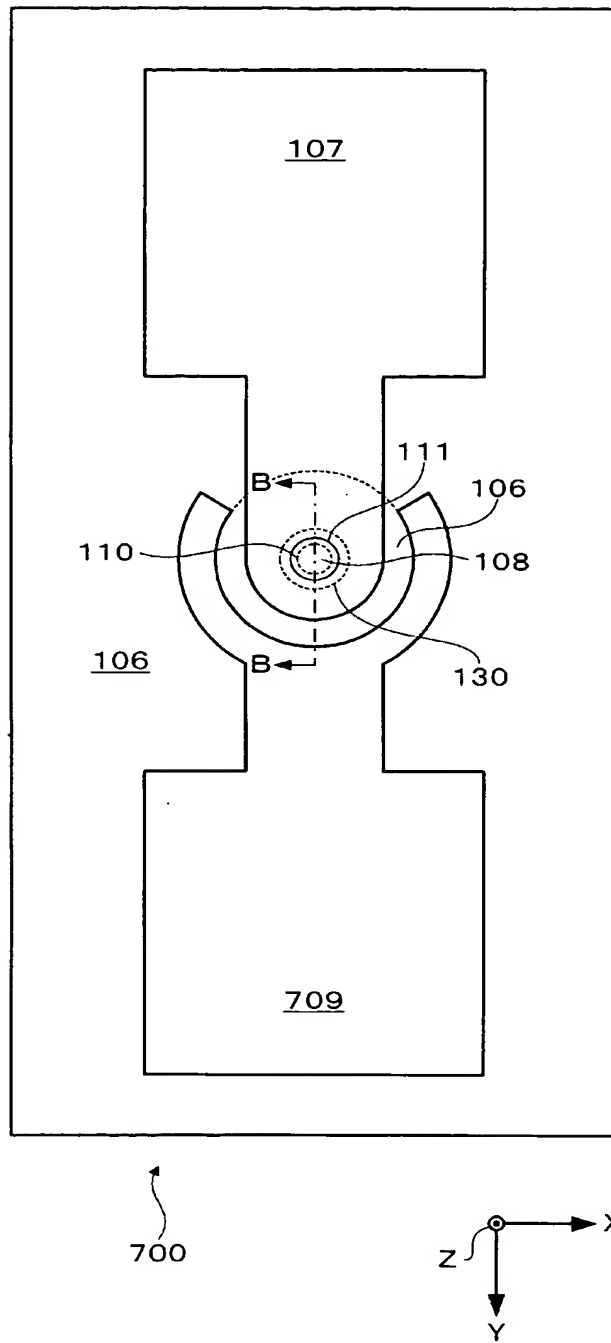
【図 20】



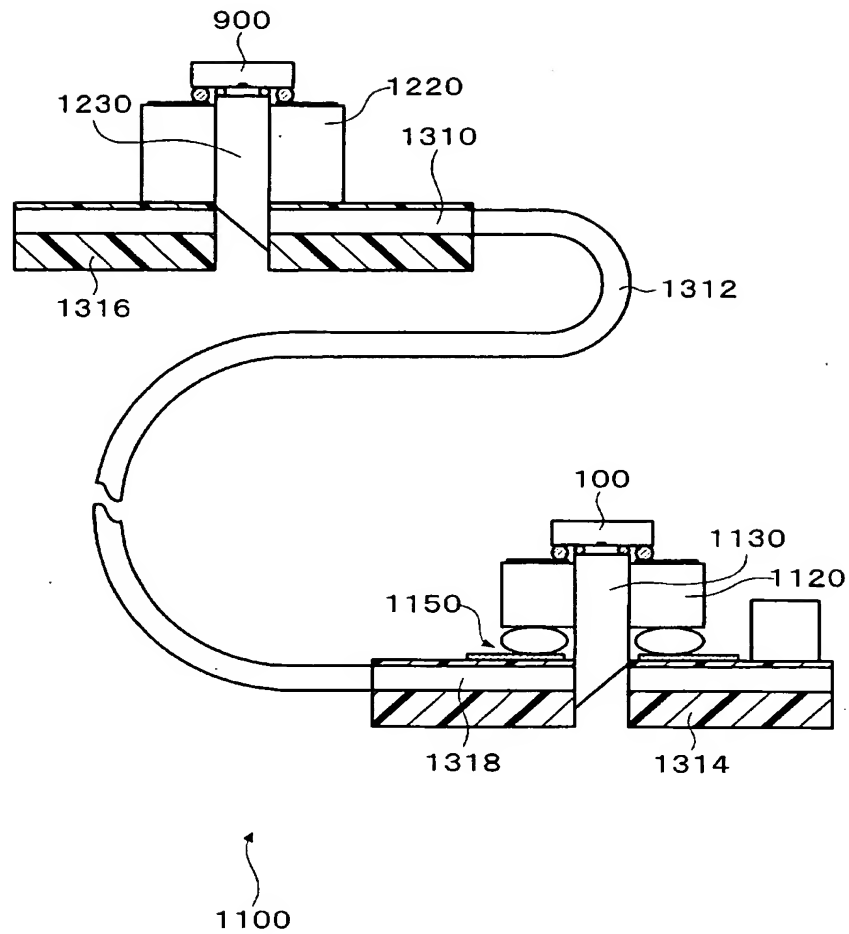
【図 23】



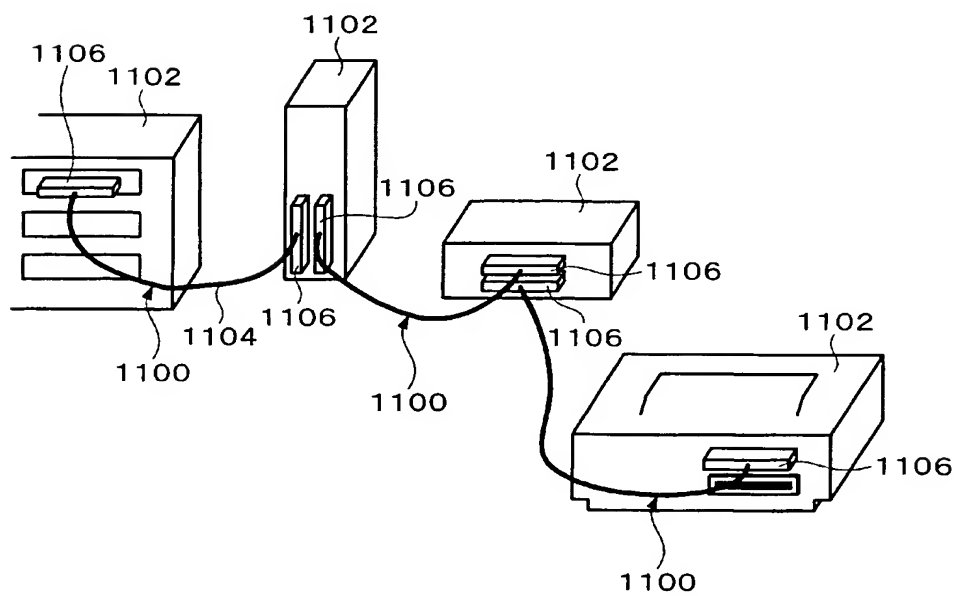
【図 24】



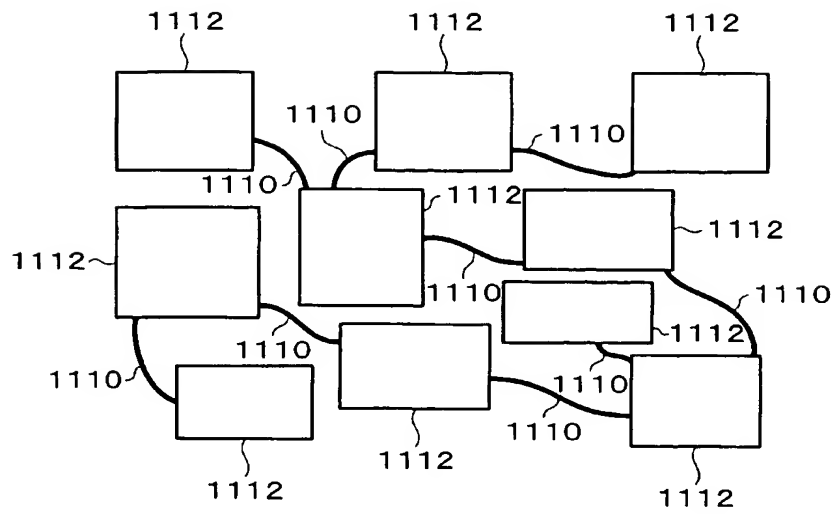
【図 25】



【図 26】



【図 27】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高速動作が可能であり、かつ、設置位置、形状および大きさが良好に制御された光学部材を含む受光素子およびその製造方法、ならびに該受光素子を含む光モジュールおよび光伝達装置を提供する。

【解決手段】 本発明の受光素子 1 0 0 は、受光面 1 0 8 上に設けられた土台部材 1 1 0 と、土台部材 1 1 0 の上面 1 1 0 a 上に設けられた光学部材 1 1 1 と、を含む。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 0 2 9 6 5 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 2 3 6 9]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都新宿区西新宿 2 丁目 4 番 1 号

氏 名

セイコーエプソン株式会社